



**MELISSA DUARTE
ALMEIDA**

**EXPLORAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS:
BARREIRO DE ALVARÃES E PEDREIRA DO VALE
DO BOI**



**MELISSA DUARTE
ALMEIDA**

**EXPLORAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS:
BARREIRO DE ALVARÃES E PEDREIRA DO VALE
DO BOI**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação do Professor Manuel Matias do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Jorge Medina

Prof. Auxiliar no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Prof. Manuel João Senos Matias

Prof. Catedrático no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Eng. Valdemar António Baptista Oliveira

Engenheiro e Director Operacional na Empresa Motamineral, Minerais Industriais, SA (Grupo Mota Ceramic Solutions).

agradecimentos

Este trabalho permitiu um enriquecimento dos conhecimentos adquiridos ao longo de todo o percurso académico, sendo possível acompanhar a maioria dos processos envolvidos numa exploração a céu aberto, com metodologias diferentes e integrando-me na visão do mundo empresarial.

Assim, gostaria de endereçar os meus agradecimentos às seguintes pessoas:

- Ao Professor Manuel Senos Matias (UA), pela sua orientação, disponibilidade e confiança disponibilizadas ao longo de todo este percurso;

- Ao Engenheiro Valdemar Oliveira, pela disponibilidade, atenção e esclarecimentos, e por me ter recebido na Motamineral de Alvarães.

- À equipa da Motamineral de Alvarães, pela disponibilidade e acolhimento em todo o processo de recolha de informação, e em especial à técnica Patrícia Felgueiras, pela atenção e disponibilidade na demonstração das técnicas de laboratório e no ciclo do barreiro.

- Ao Engenheiro António Caetano, por me ter recebido e orientado na Agrepor de Canas de Senhorim, dando acesso à exploração, aos processos envolvidos e às atividades decorridas ao longo do estágio, disponibilizando-se ainda para qualquer questão;

- Ao Encarregado Francisco Rodrigues e a todos os colaboradores que me receberam e ajudaram sempre que necessário;

- Ao Engenheiro José Teixeira, responsável pelas pegas e explosivos, que me orientou durante as pegas de fogo;

- A todos os meus colegas e amigos, que me acompanharam e ajudaram em todo o meu percurso académico;

- À minha família, pelo seu apoio e ajuda incondicionais ao longo do estágio e em todo o meu percurso académico;

A todos, o meu muito obrigada.

palavras-chave

Céu aberto, tratamento, beneficiação, recursos, arranque mecânico, diagramas de fogo, impactes ambientais e recuperação paisagística.

resumo

Este trabalho descreve e analisa as tarefas executadas durante o estágio curricular de Melissa Duarte Almeida, realizado no Barreiro de Alvarães-Motamineral – Minerais industriais S.A. e na pedreira do Vale do Boi, Agrepor e Agregados- Extração de Inertes, S.A.

Este trabalho, intitulado “ Exploração de Recursos Minerais: Barreiro de Alvarães e Pedreira do Vale do Boi”, integra-se no mestrado de Engenharia Geológica da Universidade de Aveiro.

O Barreiro de Alvarães explora caulino para construção civil, indústria da cerâmica e papel, e todas as operações são feitas por arranque mecânico. Por outro lado, a pedreira do Vale do Boi, explora granito para a produção de agregados, utilizados sobretudo na construção civil, e utiliza desmonte por explosivos. As duas explorações mencionadas anteriormente decorrem a céu aberto.

Os objetivos deste trabalho consistem em abordar todo o processo da produção de produtos minerais, desde o início dos trabalhos de exploração até ao fecho das explorações. O processo passa pela exploração a céu aberto, tratamento e beneficiação, controlo e qualidade, plano de monitorização, higiene e segurança, análise dos impactes ambientais e recuperação paisagística.

keywords

Open pit, dressing, beneficiation, resources, explosives, mechanical excavation and environmental impacts

abstract

This work describes and analyses the work carried out by Melissa Duarte Almeida, during her training at the quarry of Alvarães-Motamineral - Minerais Industrial S.A. and at the Vale do Boi quarry, Agrepor e Agregados – Extração de Inertes, S.A.

The report entitled " Exploration of Mineral Resources: Barreiro de Alvarães and Pedreira do Vale do Boi ", is part of the Master Degree in Geological Engineering from the University of Aveiro.

The quarry of Alvarães produces kaolin for civil construction, ceramics and paper industry and all the extraction operations are carried out by mechanical means. On the other hand, the quarry of Vale do Boi extracts granite, for the production of aggregates, used mainly in civil construction and extraction is done using explosives. Both quarries are open pit explorations.

The objectives of this work consist on the description and analysis of the complete process of producing mineral products, since the opening until the closure of the works. This process involves exploitation, ore dressing, quality control, hygiene and security rules, monitoring, environment impacts and mitigations measures.

Índice

Índice	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Equações	xviii
Lista de Abreviaturas	vii
1. Introdução	1
1. Exploração a céu aberto por arranque mecânico	3
1.1. Caracterização física do terreno	3
1.1.1. Enquadramento Regional e localização	3
1.1.2. Caracterização	5
1.1.2.1 Topografia	5
1.1.2.2 Enquadramento Geológico	5
1.1.2.3 Caracterização Hidrológica e Climática	8
1.2. Projeto de exploração	9
1.2.1. Caracterização da massa mineral	9
1.2.2. Método de desmonte	10
1.3. Tratamento e Beneficiação	11
1.4. Controlo de qualidade	15
1.5. Aplicações do produto obtido	15
1.6. Impactes ambientais	16
2. Exploração a céu aberto com explosivos	17
2.1. Caracterização física do terreno	17
2.1.1. Enquadramento Regional e localização	17
2.1.2. Caracterização	19
2.1.2.1 Topografia	19
2.1.2.2 Enquadramento geológico	19
2.1.2.3 Solos, Ecologia e Paisagem	21

2.1.3.	Caracterização climática e hidrogeológica.....	21
2.2.	Projeto de exploração	23
2.2.1.	Caracterização da massa mineral.....	23
2.2.2.	Cálculo das reservas e modelo 3D.....	24
2.2.3.	Volume de stocks	26
2.2.4.	Volume de escombros e escomboreiras geradas.....	26
2.3.	Método de exploração	27
2.3.1.	Método de Desmonte	27
2.3.2.	Perfuração mecânica.....	28
2.3.3.	Diagrama de Fogo	30
2.3.3.1	Cálculo da carga de explosivos.....	32
2.3.3.2	Carregamento de furos	34
2.3.3.3	Pegas do dia 3/04/2017 e 2/05/2017	37
2.3.3.4	Cálculo das vibrações	40
2.3.4.	Fragmentação Secundária/ Taqueio	42
2.4.	Limpeza e Transporte.....	44
2.5.	Tratamento e Beneficiação	45
2.5.1.	Armazenamento e expedição	55
2.6.	Produtos comercializados	57
2.6.1.	Ficha produto	59
2.7.	Impactes ambientais	61
2.8.	Segurança e Higiene no trabalho	64
2.9.	Recuperação paisagística	66
3.	Considerações finais.....	67
4.	Bibliografia	69
Anexos.....		71
Anexo I.	Mapas.....	71
Anexo II.	Legislação	72

Anexo III. Equipamento obrigatório	74
--	----

Lista de Figuras

Figura 1- Distribuição segundo o CAOP (2016) e localização do Barreiro de Alvarães-Motamineral (QGis).....	3
Figura 2- Acesso à concessão Motamineral	4
Figura 3- Mapa geológico dos vários jazigos de caulino, retirada (Barbosa, 1983).....	6
Figura 4- Caracterização geológica da área de exploração de Alvarães, pela Motamineral, e da zona envolvente (QGis), carta Geológica 5C, 1/50000	7
Figura 5- Caracterização geológica e localização da exploração de Alvarães, pela Motamineral, (QGis).....	7
Figura 6- a) Bacia de exploração ativa; b) Frente de desmonte.....	8
Figura 7- Precipitação anual, distrito de Viana do Castelo, (Portal do Clima, 2017)	8
Figura 8- Zona ativa da exploração	9
Figura 9- Desmonte mecânico com retroescavadora de lagartas	10
Figura 10- a) Central de tratamento; b) Central de fragmentação	11
Figura 11- Diagrama de Tratamento da exploração de Alvarães- Motamineral	13
Figura 12- Distribuição segundo o CAOP (2016) e localização da pedreira do Vale do Boi.....	17
Figura 13- Acessos à Pedreira do Vale do Boi, fotografia do Google Maps	18
Figura 14- Extrato do CAOP com a localização da pedreira (QGis)	19
Figura 15- Zona de exploração ativa na pedreira do Vale do Boi	20
Figura 16- Extrato superior direito da Carta Geológica 17C (1:500 000) e caracterização geológica da área de exploração de Canas de Senhorim (QGis)	20
Figura 17- a) Cortina arbórea NE; b) Cortina arbórea SW.....	21
Figura 18- Precipitação na Região de Viseu, (Portal do Clima, 2018)	22
Figura 19- Açude que interseta a pedreira do Vale do Boi	22
Figura 20- Alteração do granito	23
Figura 21- Georreferenciação da planta da pedreira do Vale do Boi no software QGis.....	24
Figura 22- Modelos 3D da pedreira do Vale do Boi no software Surfer, A) Método de Nearest Neighbor e B) Método de Inverse distance to a power	25

Figura 23- Modelos 3D da pedreira do Vale do Boi no software Surfer, A) Método de Nearest Neighbor e B) Método de Inverse distance to a power	25
Figura 24- Alguns stocks na pedreira do Vale do Boi	26
Figura 25- a) Largura de estradas de passagem; b) Largura da rampa	28
Figura 26- Características de desmonte.....	28
Figura 27- a) Posicionamento do Rock Driller para a perfuração; b) Furação com a introdução das varas	29
Figura 28- Diâmetro do furo.....	29
Figura 29 - Esquema do diagrama de fogo da pedreira do Vale do Boi, retirado (LNEG, 2017). 30	
Figura 30- Cálculo do afastamento e do fator inclinação	31
Figura 31- Esquema da ligação em espinha de peixe, Moura Silva &Filhos, S. A.....	34
Figura 32- a) Distribuição dos cartuchos; b) Colocação do detonador no 1º cartucho e laço de porco; c) Enchimento com os restantes cartuchos; d) Colocação do fio preso numa pedra	36
Figura 33-Localização das pegas	37
Figura 34- Localização das pegas por bancada, excerto da planta da pedreira do Vale do Boi . 37	
Figura 35- Pega do dia 3 de abril de 2017: a) Vista superior antes da pega; b) Vista superior após a pega; c) Vista lateral após a pega	38
Figura 36- Pega do dia 2 de maio de 2017: a) Vista superior antes da pega; b) Vista superior após a pega; c) Vista lateral antes da pega; d) Vista lateral após a pega	38
Figura 37- a) Giratória; b) Martelo acoplado	42
Figura 38- a) Elevação do material com a pá carregadora; b) Queda do material e sua fragmentação	42
Figura 39- Fragmentação secundária com o auxílio da giratória com martelo acoplado.....	43
Figura 40- a) Carregamento do Dumper; b) Condicionamento da carga; c) Zona de troca.....	44
Figura 41- a) Aguardando autorização para a descarga; b) Descarga do material; c) Material no alimentador.....	44
Figura 42- a) Britador primário Metso C145	45
Figura 43- Britador de maxilas primário: a) entrada do alimentador; b) saída do alimentador; c) Mandíbulas de maxilas; c) Braço hidráulico.....	46
Figura 44- a) Saída do material; b) Tela transportadora	46

Figura 45- a) Transporte pela tela transportadora até ao crivo Scalping (C1); b) Transporte do Rachão Britado para o pré stock; c) Pré stock	47
Figura 46- Imã do pré-stock	47
Figura 47- a) Moinho cónico Automax 1300, b) Moinho cónico Nordberg HP 200.....	48
Figura 48- a) Crivo 2 e 3; b) Crivo 4	48
Figura 49- Nora e produção de areias.....	49
Figura 50- a) Nora e depósito intermédio, b) Interior da Nora.....	49
Figura 51- Diagrama de Tratamento da Pedreira do Vale do Boi	51
Figura 52- Diagrama Base da pedreira do Vale do Boi.....	53
Figura 53- Identificação dos stocks	55
Figura 54- Área dos stocks	55
Figura 55- A) Entrada e saída de camiões, B) Carregamento do camião com a pá carregadora, C) Saída e lavagem do camião	56
Figura 56- Chuveiro no alimentador do britador	62
Figura 57- Lavagem dos camiões	62
Figura 58- Chuveiro na Tela Transportadora para o stock primário	63
Figura 59- Cisterna para efetuar a rega ao solo da pedreira	63
Figura 60- Sinalização de circulação e prevenção.....	65
Figura 61-Carta da tipologia florestal de Portugal Continental	71

Lista de Tabelas

Tabela 1- Altura da bancada (k) em função do diâmetro do furo (D), (Daniel, 1999)	32
Tabela 2- Diagrama de fogo teórico: 1- 3 de abril de 2017; 2- 2 de maio de 2017	39
Tabela 3- Diagramas de fogo realizados pela empresa Moura Silva & Filhos, S.A, -1) 3 de abril de 2017; 2) 2 de maio de 2017.....	39
Tabela 4 – Valores das variáveis a, b e c, para diversos maciços, (Johnson, 1971)	41
Tabela 5- Valores limites de velocidade de vibração de pico (mm/s), (Esteves, 1993)	41
Tabela 6- Produtos comercializados	57
Tabela 7- Frequência dos ensaios de qualidade	60

Tabela 8- Legislação de zonas de exploração a céu aberto	72
Tabela 9- Equipamentos obrigatórios em zonas de exploração	74

Lista de Equações

Equação 1	$V = 0,045 * D$ (diâmetro do furo em mm) [m].....	30
Equação 2	$K = V * Const$ [m].....	30
Equação 3	$E = 1,25 * V$ [m]	30
Equação 4	$U = 0,3 * V$ [m]	30
Equação 5	$H = U + K * i$ [m]	30
Equação 6	$V_{rocha} = V * E * K$ [m ³]	32
Equação 7	$b = \frac{H}{V_{rocha}}$ [m]	32
Equação 8	$h_{Qf} = 1,3 * V$ [m]	32
Equação 9	$Q_f \text{ por metro} = \frac{D(mm)^2}{1000} \left[\frac{kg}{m} \right]$	32
Equação 10	$Q_f \text{ total} = Q_f * Q_f \text{ (por metro)}$ [kg]	32
Equação 11	$A = V$ [m]	333
Equação 12	$h_{Qc} = H - Q_f - \text{Atacamento}$ [m].....	333
Equação 13	$Q_c \text{ (por metro)} = 0,5 * Q_f \text{ (por metro)} \left[\frac{kg}{m} \right]$	333
Equação 14	$Q_c \text{ total} = Q_c * Q_c \text{ (por metro)}$ [kg]	33
Equação 15	$Q_{\text{total por furo}} = Q_f \text{ total} + Q_c \text{ total}$ [kg].....	33
Equação 16	$Q_{\text{total por pega}} = Q_{\text{total por furo}} * N^{\circ} \text{ furos}$ [kg].....	33
Equação 17	$\text{Consumo específico} = \frac{Q_{\text{total por furo}}}{V_{rocha}} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	33
Equação 18	$CE = \frac{M_{exp}}{N^{\circ} \text{ furos} * H * E * V * 2,6} \left[\frac{kg}{ton} \right]$	33
Equação 19	$D_s \geq 22,5 * Q^{1/2}$ [m]	40
Equação 20	$v = k * \sqrt{\frac{Q}{d^{3/2}}} \left[\frac{mm}{s} \right]$	40
Equação 21	$V = a * Q^b * d^c \left[\frac{mm}{s} \right]$	41

Lista de Abreviaturas

CAOP- Carta Administrativa Oficial de Portugal

D- Diâmetro do furo (m)

K- Altura da bancada (m)

H- Comprimento do furo (m)

V- Afastamento (m)

U- Subfuração (m)

E- Espaçamento (m)

i - Inclinação do furo ($^{\circ}$ - Graus)

Q – Carga (kg)

b – Quantidade de metros que se deve arrancar para obter 1m^3

Vrocha- Volume de rocha extraída (m^3)

Qf- Carga de fundo (kg)

Qc- Carga de coluna (kg)

CE- Consumo específico (kg/ton)

A- Atacamento/tampão (m)

Qf total – Carga de fundo total (kg)

Qf (por metro) – Carga de fundo por metro (kg/m)

hQf- altura de carga de fundo (m)

hQc- altura da carga de coluna (m)

Qc total – Carga de coluna total (kg)

Qc (por metro) – Carga de coluna por metro (kg/m)

Q total por furo – Carga total de explosivos por furo (kg)

Q total por pega – Carga total de explosivos por pega (kg)

Nºfuros – Número de furos por pega

Ds- Distância de segurança (m)

Mexp – Carga total de explosivos (kg)

a, b e c – Constantes que dependem das características da rocha, tipo de explosivos e técnica de desmonte

k – Parâmetro da rocha ligado à capacidade de dispersão

v- Velocidade de vibração (mm/s)

V- Velocidade de pico crítica (mm/s)

d= distância

EIA- Estudo de Impacto Ambiental

APCER- Associação Portuguesa de Certificação

Marcação CE- indicativo de conformidade obrigatória para produtos comercializados no Espaço Económico Europeu

1. Introdução

O presente relatório refere-se à realização do meu estágio em dois locais. O primeiro local foi no Barreiro de Alvarães, pertencente à Motamineral- Minerais Industriais, S.A., Alvarães, distrito de Viana do Castelo. O segundo local foi na Pedreira do Vale do Boi, pertencente à Agrepor, Agregados- Exploração de Inertes S.A, Nelas, distrito de Viseu.

Para a realização deste trabalho, optei por dividi-lo em duas partes centrais. A primeira parte diz respeito ao estágio no Barreiro de Alvarães, onde foram desenvolvidos os seguintes tópicos: caracterização da zona de exploração e do recurso mineral, neste caso caulino; método de exploração; tratamento e beneficiação; controlo e qualidade; aplicação do produto obtido e impactes ambientais.

A segunda parte do trabalho refere-se ao estágio na Pedreira do Vale do Boi, onde desenvolvi os seguintes tópicos: caracterização da zona de exploração e do recurso mineral, neste caso granito para agregados; cálculo das reservas; método de exploração; transporte e limpeza; tratamento e beneficiação; aplicação do produto obtido; impactes ambientais e recuperação paisagística.

Em ambas as partes foi utilizado o *software* QGis para a construção das *shapefiles* no sistema de coordenadas *Universal Transverse Mercator*, datum WGS84 (WGS84/UTM zona 29N, código EPSG:32629). Os mapas de cálculo das reservas da Pedreira do Vale do Boi foram elaborados no Surfer 11 ®.

Nos dois locais de estudo, antes, durante e no fecho da exploração, cumpre-se legislação em vigor, (Anexo II).

Com este trabalho pretendo aplicar e relacionar os conteúdos teóricos com a prática dos locais de estágio, perceber se o método aplicado nos locais em estudo é eficiente, estudar a possível otimização do processo de exploração e analisar as técnicas de recuperações ambientais aplicadas e propor outras a implementar.

Na indústria extrativa existe exploração a céu aberto e subterrâneo, nos dois locais o método usado é a céu aberto, pois é tecnicamente mais aconselhável, face às especificidades de ambos os casos.

No que diz respeito ao desmonte a céu aberto, este inclui arranque mecânico e arranque com recurso a explosivos.

No caso do Barreiro de Alvarães é utilizado o arranque mecânico, pois o recurso mineral a explorar é o caulino e as suas características permitem este tipo de arranque e que rentabiliza os custos associados à exploração. Na pedreira do Vale do Boi, o arranque recorre ao uso de explosivos, pois o recurso mineral é o granito, cujas características, neste caso ripabilidade, não permitem o arranque mecânico.

Ambos os recursos têm aplicações diversas e podem ser utilizados no fabrico de cimento, na construção civil, na indústria do papel, tintas, vias de circulação, etc.

Os recursos minerais precisam de ser tratados e beneficiados, para produzir um produto final comerciável com valor acrescentado.

O tratamento e beneficiação dos recursos minerais consistem num conjunto de operações aplicadas no recurso para melhorar algumas das suas características, tais como a granulometria, concentração, sem comprometer a componente química e física do recurso, (Luz, Sampaio, & França, 2010).

Os minerais industriais têm vindo a ser valorizados, ganhando mais campos de utilização. No entanto dependem da economia nacional e global, o que pode condicionar e limitar algumas zonas de exploração, que numa época temporal podem ser muito rentáveis, e noutra época já não o são.

A exploração de recursos minerais é regida por regulamentação ambiental que pode limitar a sua exploração. Deve, portanto, existir um equilíbrio em ambos os setores, dado que, se por um lado, os minerais industriais são importantes em diversas aplicações que usamos no nosso dia a dia, também a conservação ambiental é fundamental para a nossa existência. Por isso todas as explorações mineiras devem reger-se e observar toda a legislação existente.

Nos dois locais do estudo observam-se normas de equipamento obrigatório, para segurança e higiene, (Anexo III).

1. Exploração a céu aberto por arranque mecânico

1.1. Caracterização física do terreno

1.1.1. Enquadramento Regional e localização

A exploração de Alvarães situa-se nos limites das freguesias de Alvarães, Vila de Punhe e Fragoso, dos concelhos de Viana do Castelo e Braga da Região Norte de Portugal Continental, (Figura 1). Nas freguesias referidas existe uma densidade populacional de 256,2 hab/km², 443,9 hab/km² e 174,2 hab/km². A área está concessionada à Motamineral Minerais Industriais, S.A.

Na Figura 1 apresenta-se o enquadramento nacional e regional da pedreira de Alvarães segundo o CAOP. Os dados utilizados na Figura 1, foram retirados da Direção Geral do Território (*shape* CAOP 2016) e da imagem de satélite da *Google Earth*, sendo posteriormente tratados de forma a integrar a concessão Motamineral.

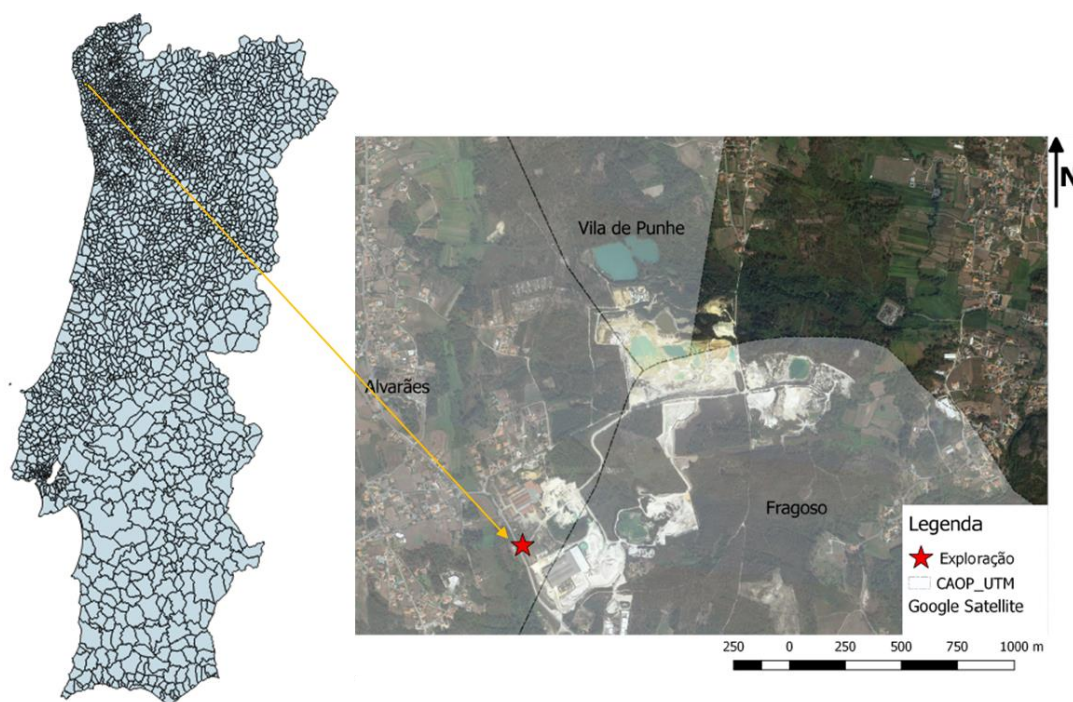


Figura 1- Distribuição segundo o CAOP (2016) e localização do Barreiro de Alvarães- Motamineral (QGis)

As habitações mais próximas localizam-se em Alvarães, embora na concessão existam edifícios, equipamento industrial e oficinas pertencentes à Motamineral.

Os melhores acessos para o Barreiro de Alvarães são, Figura 2:

- A partir do Sul (S), seguir pela A 28, saída 21 e prosseguir pela N103 com direção a Braga/ Barcelos;
- Pelo Norte (N), seguir pela A28, saída 24 para continuar na A28 em direção ao Porto. Prosseguir pela A28, saída 21 para N103, com direção a Braga/ Barcelos;



Figura 2- Acesso à concessão Motamineral

1.1.2. Caracterização

1.1.2.1 Topografia

A área da concessão apresenta formas de relevo condicionadas pelo granito que aflora na região. Com as alterações que o granito pode sofrer e com a fraturação das zonas graníticas, vão-se criando condições para que se desenvolvam bacias de deposição ou de alteração que podem gerar jazigos de materiais caulinizados.

A zona de exploração encontra-se na Bacia de Alvarães, com declive fraco em seu redor, tal como podemos observar e consultar, em termos topográficos, na carta militar nº54, escala 1/25000.

Esta exploração encontra-se delimitada a Norte (N) pelo Rio Lima, a Este (E) pela Serra da Padela, a Sul (S) pelo rio Neiva e a Oeste (W) por areias de praia e duna.

1.1.2.2 Enquadramento Geológico

O depósito de caulino de Alvarães encontra-se instalado na bacia tectono- sedimentar de Alvarães, a SE de Viana do Castelo, na zona Centro Ibérica do Maciço Hespérico, (Julivert, Fontboté, Ribeiro, & Conde, 1974) (Ribeiro, Antunes, Ferreira, & Carvalho, 1979), a oeste (W) da falha Vigo- Régua (Pereira, 1992).

Nesta mesma bacia existe outro depósito de caulino, na freguesia de Vila Fria. A base desta bacia é formada por granitos caulinizados e metassedimentos silurianos fortemente alterados.

O depósito de caulino de Alvarães é formado por dois tipos de caulino, caulino residual e o caulino sedimentar, provenientes de granito de grão médio, calco-alcalino e de duas micas, que constituem o substrato numa extensa área aplanada - bacia de Alvarães.

A bacia de Alvarães é constituída por uma cobertura superficial de depósitos de terraços fluviais quaternários, que se situam a cotas que variam dos 30 aos 90 m. Este depósito é um dos maiores depósitos de caulino existentes em Portugal Continental, (Ferraz, 2004) (Figura 3).

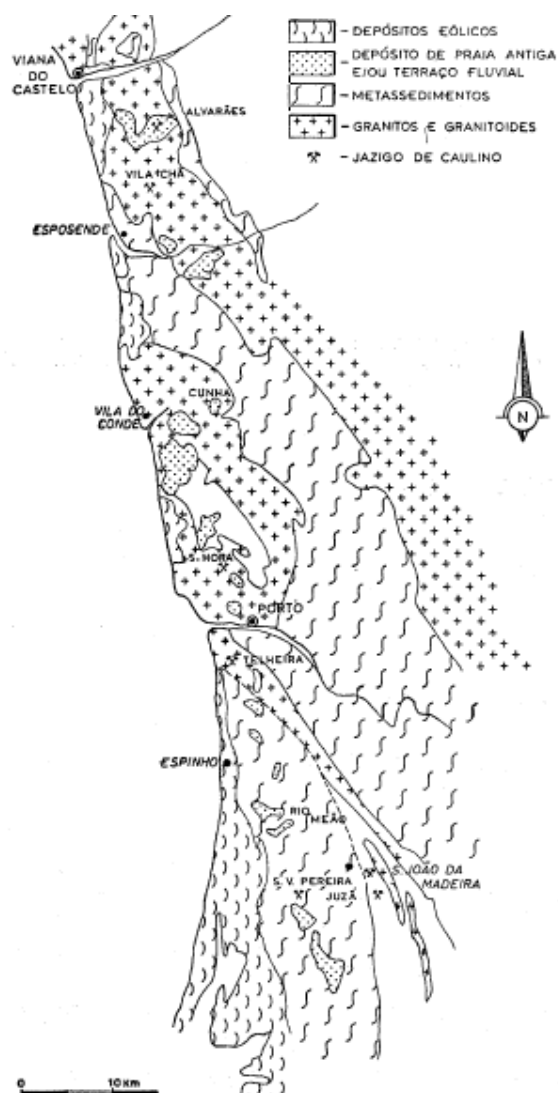


Figura 3- Mapa geológico dos vários jazigos de caulino, retirada (Barbosa, 1983)

Na região envolvente ao barreiro de Alvarães, podemos encontrar aluviões, afloramentos de granito de grão médio a grosseiro, depósitos de praias antigas e terraços fluviais (Figura 4).

Para uma melhor a visualização da geologia da zona, foi criado um mapa geológico da área em estudo, com base na carta geológica 5C, escala de 1/50000, e criou-se uma *shape file*, onde se distinguiram as diferentes litologias. Devido à falta da planta desta exploração, elaborou-se uma *shape file* da área circundante da concessão, onde estão representadas as unidades geológicas aflorantes do barreiro em estudo (Figura 4).

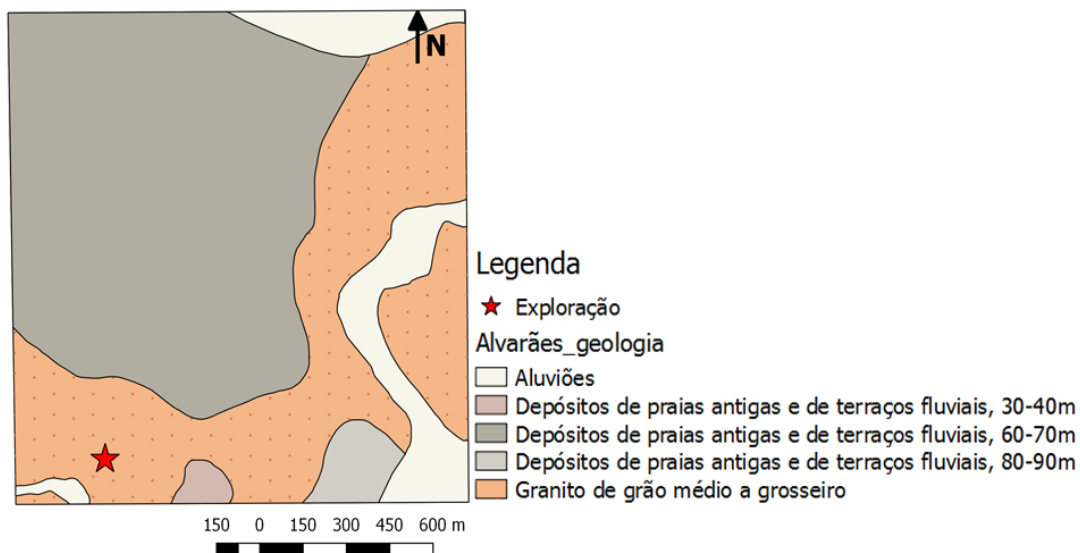


Figura 4- Caraterização geológica da área de exploração de Alvarães, pela Motamineral, e da zona envolvente (QGis), carta Geológica 5C, 1/50000

De forma a distinguir as áreas mineiras ativas das inativas, sobrepôs-se a visualização do *Google Earth* no mapa da Figura 4 (Figura 5).

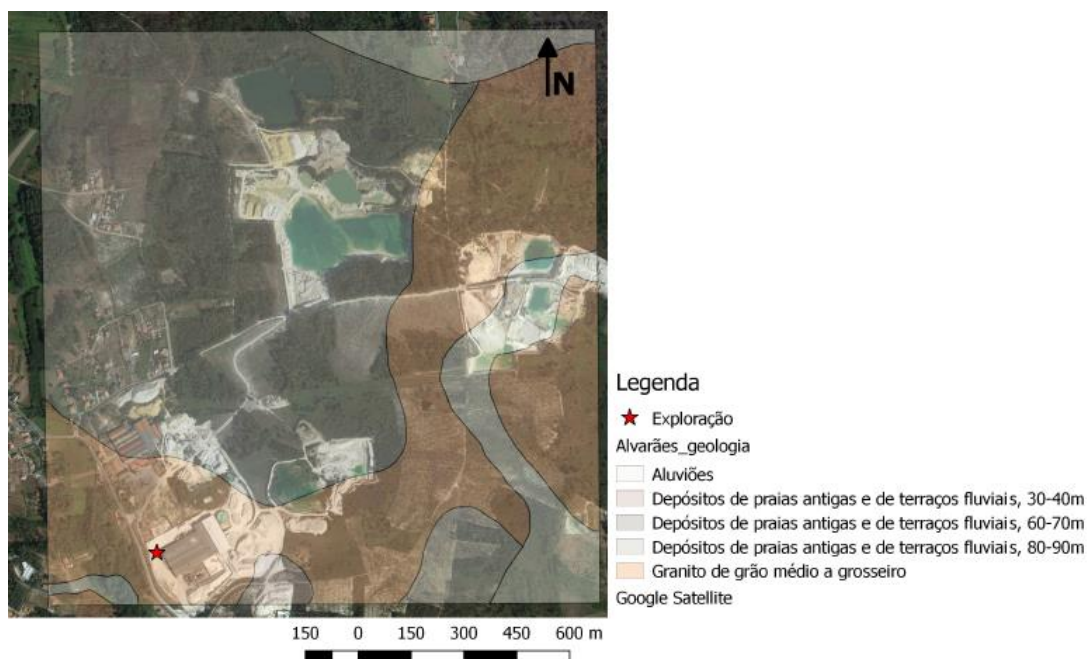


Figura 5- Caracterização geológica e localização da exploração de Alvarães, pela Motamineral, (QGis)

Uma das zonas de exploração já explorada e atualmente inativa, foi objeto de recuperação ambiental, estando agora disponível para atividades de pesca.

Das zonas ativas, a que fornece a maior parte do caulino para comercialização, localiza-se junto aos edifícios da concessão (Figura 6).



Figura 6- a) Bacia de exploração ativa; b) Frente de desmonte

1.1.2.3 Caracterização Hidrológica e Climática

Na região de Alvarães existem duas bacias de drenagens, a Norte(N), a Bacia Hidrográfica do Rio Lima e a Sul (S) a Bacia Hidrográfica do Rio Neiva. Existem também várias lagoas artificiais na zona em estudo, resultantes de atuais e antigas explorações de caulino e argila vermelha.

Do ponto de vista climatológico, trata-se de uma região húmida nos primeiros e últimos meses do ano, com uma época de estio nos meses de julho e agosto, característico de clima Atlântico e com precipitação anual inferior a 1500mm, (Figura 7).

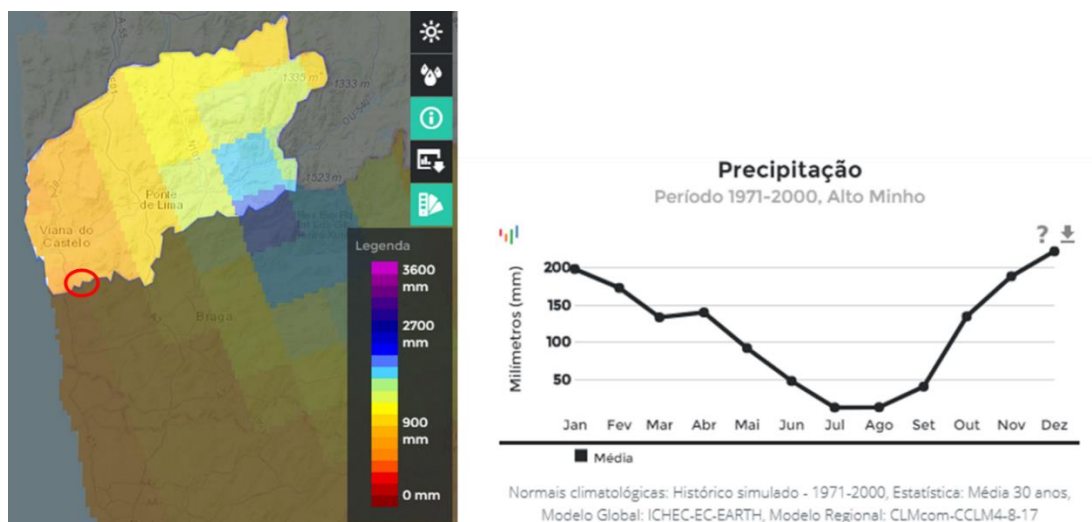


Figura 7- Precipitação anual, distrito de Viana do Castelo, (Portal do Clima, 2017)

1.2. Projeto de exploração

O método de exploração utilizado em Alvarães é o método a céu aberto com arranque mecânico e realizado por bancadas. Neste tipo de desmonte é necessário um operário bastante qualificado, que irá selecionar visualmente o caulino a ser tratado e beneficiado e o respectivo abastecimento dos *dumpers* que fazem o transporte da frente de desmonte para a oficina de tratamento.

1.2.1. Caracterização da massa mineral

Nesta exploração a massa mineral é o caulino, existindo dois tipos de depósitos, residuais e sedimentares (Figura 8).

Os caulinos primários, ou residuais, resultam da alteração química residual, sem grande transporte físico a partir da rocha mãe original, rica em feldspatos, micas e outros aluminossilicatos. Este tipo de caulino, produto da caulinização, resulta da alteração e decomposição dos minerais primários (feldspatos e micas) que originam minerais secundários, haloisite e caulinite. Este tipo de depósito apresenta um baixo teor de fração argilosa, (Ferraz, 2004).

Os caulinos de depósitos sedimentares, contêm sedimentos resultantes da erosão e transporte que, uma vez depositados, apresentam estrutura tabular geralmente estratificada. Este tipo de depósitos situa-se nas proximidades de maciços cristalinos que foram submetidos a forte alteração. E resultam da acumulação dos produtos de alteração em bacias tectônicas ou plataformas topográficas, sendo estes mais ricos em fração argilosa, (Ferraz, 2004).



Figura 8- Zona ativa da exploração

1.2.2. Método de desmonte

A exploração de caulino é efetuada a céu aberto com arranque mecânico e realizado por bancadas.

Normalmente, o desmonte mecânico é efetuado através de duas retroescavadoras de rasto e de lagartas, (Figura 9). Por norma, nas horas de pausa uma das retroescavadoras continua o arranque quando há uma grande procura do recurso.

Os operários responsáveis pelo desmonte têm de ser bastantes qualificados, pois selecionam o caulino a ser tratado e beneficiado do estéril. Os *dumpers* com o caulino a ser tratado e beneficiado seguem para a oficina de tratamento.

O material não selecionado, de má qualidade, vai ser transportado para a escombreira. No entanto este material ainda pode ser parcialmente aproveitado para produzir areão e areia.



Figura 9- Desmonte mecânico com retroescavadora de lagartas

O trajeto da frente de desmonte para a oficina de tratamento e o trajeto do desmonte para as escombreiras utilizam caminhos públicos e caminhos pertencentes à empresa.

Nestas circunstâncias não é possível impedir o acesso de viaturas privadas, pelo que são necessários cuidados redobrados nestas operações para evitar acidentes.

1.3. Tratamento e Beneficiação

Uma vez chegado à oficina de tratamento o material escolhido visualmente é sujeito a várias fases de tratamento e beneficiação, (Figura 10). O tratamento do caulino é importante, pois vai melhorar algumas das suas propriedades, como a brancura, a granulometria, a reatividade das partículas, a abrasividade, entre outras.

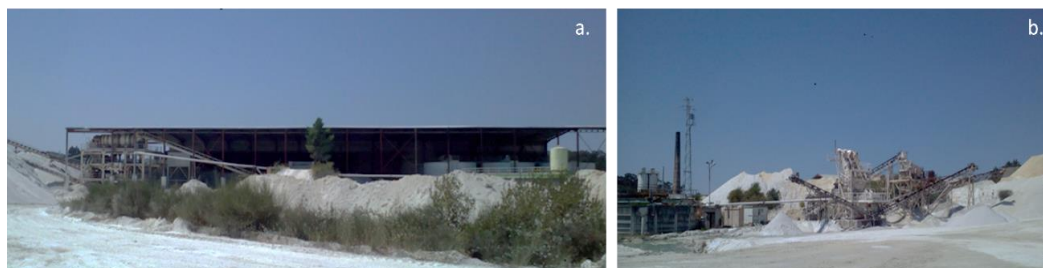


Figura 10- a) Central de tratamento; b) Central de fragmentação

Os rejeitados, isto é, o areão, a areia grossa, a areia média, areia fina e as micas, produtos de 1 a 6 da Figura 11, possuem valor comercial sendo sujeitos só a processos de seleção de granulometria. Como se pode ver na Figura 11, o areão é produzido após a lavagem no cilindro lavador (*Trommel*). Já a areia grossa é produzida após a passagem no crivo (C1), enquanto que a areia média é produzida após a passagem no crivo (C2), (Figura 11).

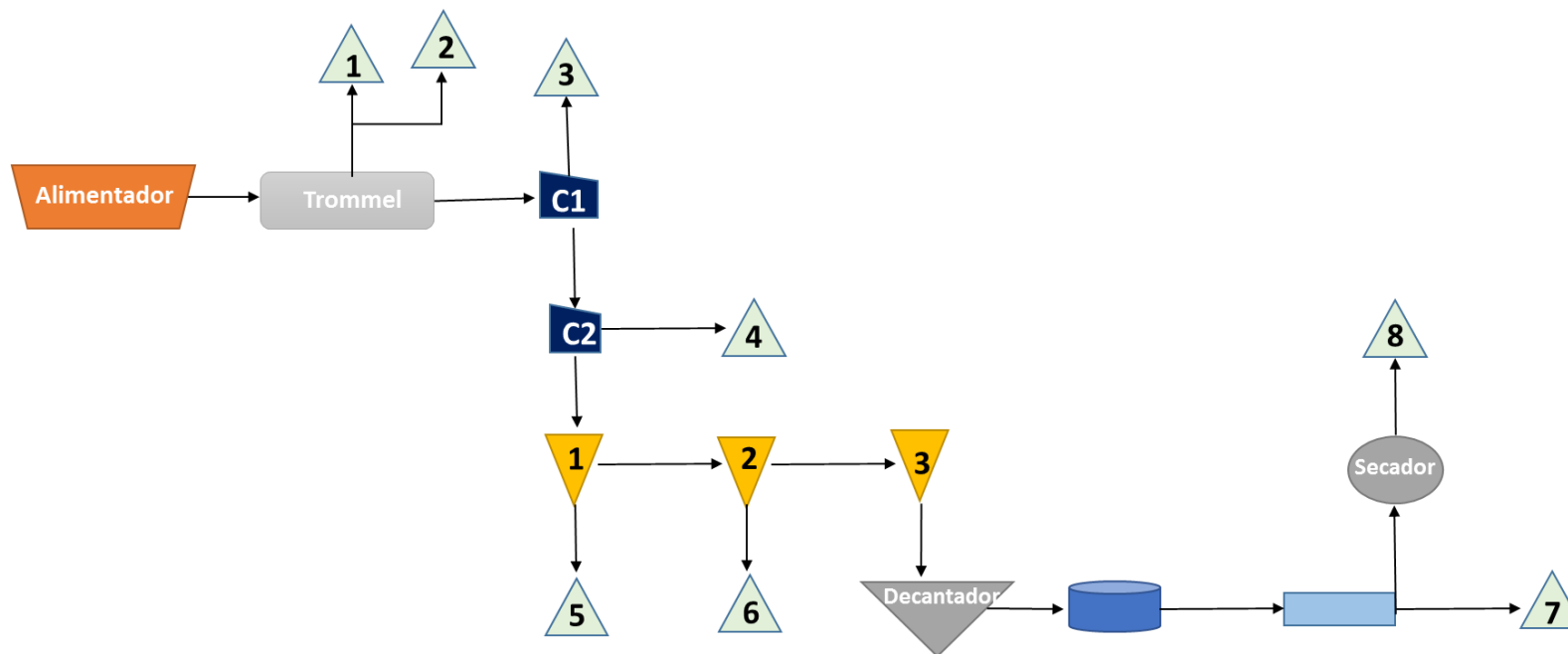
Finalmente a areia fina e as micas são produzidas após duas etapas de ciclonagem.

O tratamento do caulino promove o enriquecimento da argila, sendo esse tratamento/refinação feito por via húmida, que inclui: crivagem, ciclonagem, decantação, filtração, prensagem e secagem.

A prensagem e secagem, são processos físicos que ajudam a eliminar a água em excesso. Contudo, o processo de secagem não pode utilizar temperaturas que danifiquem a estrutura cristalina do caulino.

Com estas operações pretende-se dotar os caulinos de Alvarães com propriedades (cor, brilho, opacidade, abrasividade, plasticidade) que lhe permitam aumentar o valor comercial.

A Figura 11 representa o diagrama de beneficiação desta unidade.



Legenda:







- | | | |
|------------------------|---|---|
| 1- Rejeitado >25mm |  Crivo |  Decantador |
| 2- Areão > 12mm | | |
| 3- Areia Grossa 5/11mm |  Separador ciclónico |  Tanque de armazenamento |
| 4- Areia Média 0/4 mm | | |
| 5- Areia Fina 0/2 mm | | |
| 6- Micas 0/1 mm |  Filtropressas |  Secador |
| 7- Caulino Húmido | | |
| 8- Caulino Seco | | |

Figura 11- Diagrama de Tratamento da exploração de Alvarões- Motamineral

1.4. Controlo de qualidade

A concessão de Alvarães - Motamineral, possui um laboratório que faz análises diárias para controlar a qualidade da matéria prima. Os ensaios realizados são:

- Densidade;
- Percentagem de Resíduo;
- Percentagem de Humidade;
- Análise química;
- Viscosidade;
- Percentagem de retração;
- Cor;
- Absorção de água;
- Percentagem de perda ao rubro;

São efetuados diariamente em três setores, lavagem, prensagem e secagem, ensaios do produto a processar. Estes ensaios são importantes para manter a qualidade do produto a vender e servem também como indicador do tipo de caulino que vem da frente de desmonte (caulino primário ou caulino secundário).

Para o controlo da lavagem, retiram-se amostras do tanque de armazenamento. Estas amostragens são analisadas para medir a densidade e a percentagem da fração inferior 45 µm, (máximo admissível 1 %).

1.5. Aplicações do produto obtido

As mais importantes aplicações do caulino são as indústrias cerâmicas, papel e construção civil.

O setor com maior consumo de caulino é o da indústria cerâmica, no fabrico de porcelana utilitária e ornamental, (consumo nacional cerca de 90%). Saliente-se que no caso do barreiro de Alvarães, o caulino e os outros produtos, são utilizados no fabrico de materiais de revestimento e de pavimentação, na produção de pasta cerâmica, obras públicas e construção civil.

1.6. Impactes ambientais

Os principais impactes ambientais associados ao barreiro de Alvarães são alterações da qualidade do ar (poeiras), da água e das características do solo. De um modo geral, o ruído não atinge valores significativos pois é uma exploração com desmonte mecânico.

De forma a minimizar a libertação de poeiras durante a circulação de veículos, foi implementada a rega periódica no barreiro, particularmente em dias secos. Esta rega é efetuada com água do próprio barreiro. Por outro a água proveniente dos tanques de decantação é recuperada e reentra no ciclo de produção.

As zonas já exploradas podem ser recuperadas de várias formas, algumas já foram recuperas e são presentemente utilizadas para pesca recreativa.

A fazer a reflorestação devem ser utilizadas as espécies arboríferas autóctones.

A monitorização ambiental do barreiro passa por medidas de controlo da:

- Qualidade do ar e da água;
- Rede de drenagem;

A comercialização dos produtos menos nobres (areias) permite uma redução muito grande dos estéreis do barreiro.

Os impactes na saúde humana são acautelados pois a legislação de segurança e higiene no trabalho é observada. Medidas como a vigilância médica periódica, uso de luvas, máscaras e óculos, uso obrigatório de capacete, colete refletor e botas adequadas aos trabalhos exteriores fazem parte do cumprimento dessas regras (Anexo III).

2. Exploração a céu aberto com explosivos

2.1. Caracterização física do terreno

2.1.1. Enquadramento Regional e localização

A Pedreira do Vale do Boi, localiza-se nos limites das freguesias de Canas de Senhorim e Lapa do Lobo, concelho de Nelas, distrito de Viseu, Região Centro de Portugal Continental.

A área de exploração ocupa 53,76 hectares, encontra-se em atividade desde 1989 e é associada à Agrepor- Extração de Inertes, S.A. O seu ponto central tem de coordenadas militares, M=217 750 m e P=391 250 m.

As habitações mais próximas situam-se na localidade de Lapa do Lobo, existindo dentro da área concessionada só edifícios e oficinas da empresa.

Em 2011 era registado uma densidade populacional de 25,66 hab/km² em Canas de Senhorim e 71,4 hab/km² na Lapa do Lobo, Censos 2011. A Figura 12 representa a localização da pedreira segundo os dados do CAOP. Foram realizadas shapes para o CAOP (2016) e para os limites da pedreira. Esta última foi realizada a partir da planta, fornecida pela concessão Agrepor- Canas de Senhorim.

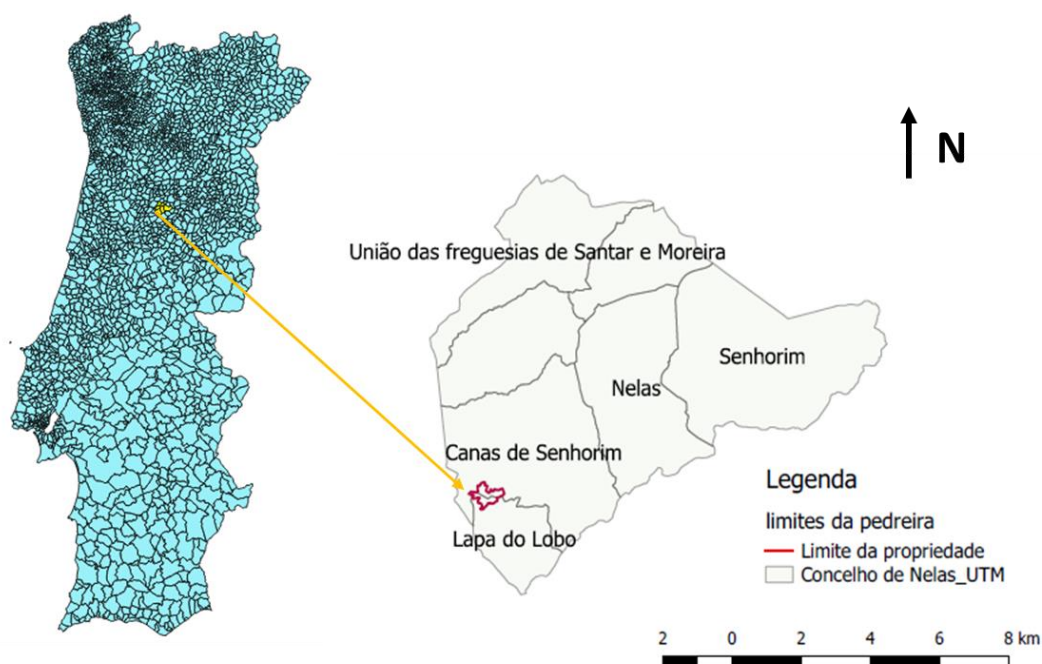


Figura 12- Distribuição segundo o CAOP (2016) e localização da pedreira do Vale do Boi

Os melhores acessos para a pedreira do Vale do Boi são, (Figura 13):

A partir do Sul, seguir pela A 35/ IC2, saída 8 com direção a Guarda. Posteriormente seguir pela IC12 com direção a Guarda/Mangualde.

Pelo Norte, seguir pela A25, saída 18 com direção a Viseu, prosseguir pela N231 em direção a Viseu/Nelas.



Figura 13- Acessos à Pedreira do Vale do Boi, fotografia do *Google Maps*

2.1.2. Caracterização

2.1.2.1 Topografia

A área em estudo localiza-se na Beira Alta, a Noroeste(NE) da Serra do Caramulo e a Sueste(SE) da Serra da Estrela. A topografia envolvente é relativamente acidentada, com cotas compreendidas entre os 200 m e os 400 m de altitude, sendo limitada pelos rios Dão e Mondego.

As cotas da pedreira variam entre os 290 m e os 340 m, como é representado na Figura 14, sendo a linha vermelha o limite máximo da pedreira. É de salientar que a cota mínima (250 m) visualizada na figura, é fixa, não sendo possível explorar mais a baixo desta, devido ao plano de lavra e nível freático.

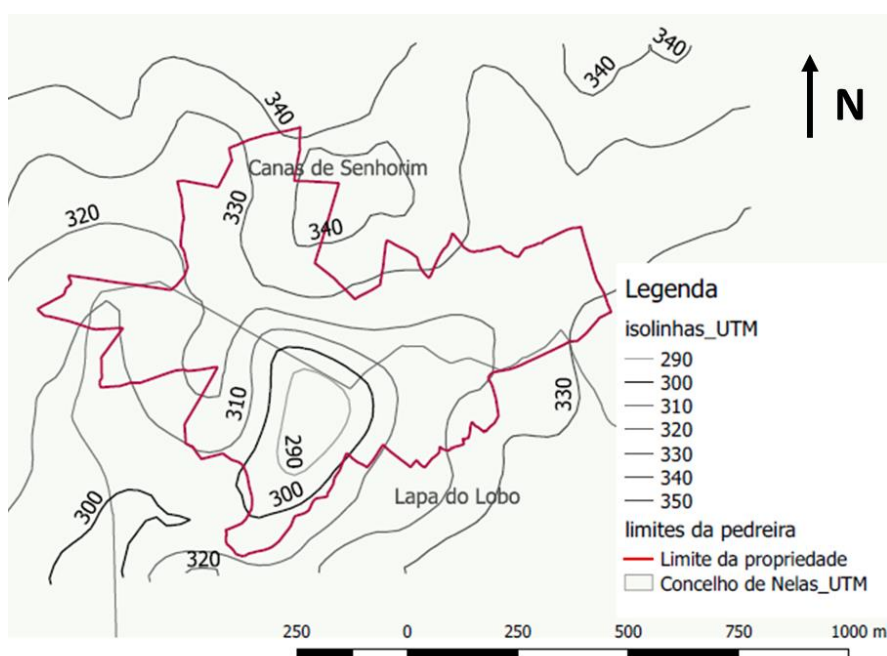


Figura 14- Extrato do CAOP com a localização da pedreira (QGis)

2.1.2.2 Enquadramento geológico

A região envolvente à pedreira do Vale do Boi é constituída por granito hercínio pós tectónico, de granulometria média a grossa e cor cinzenta. Apresenta fáceis texturais diferentes, embora seja todo ele, monzonítico, de duas micas, principalmente biotite.

A litologia da zona de exploração é predominantemente granítica, com os maciços fortemente aplanados, erodidos e alterados, podendo surgir alguns blocos, (Figura 15).



Figura 15- Zona de exploração ativa na pedreira do Vale do Boi

A composição mineralógica do granito é bastante uniforme, sendo constituído por quartzo, oligoclase, microclina, microclina-pertite, albite-oligoclase e biotite. Como minerais acessórios, podemos encontrar moscovite, apatite, zircão, turmalina, magnetite, ilmenite, pirite, rútilo, fluorite, esfena e andaluzite, (Trindade, 2009).

Na região podemos encontrar filões siliciosos, do tipo hidrotermal, cujas direções são aproximadamente NE-SW. Estes filões são de grande possança, atravessando a frente de desmonte da pedreira, (Figura 16) e estão associados a falhas e fenómenos de natureza hidrotermal.

Para melhorar a visualização da geologia, foi efetuado um mapa geológico da área em estudo, com recurso à carta geológica 17C (1:50 000), (Figura 16). Para isso foi necessário criar uma *shape file* para os limites da pedreira e outra para a geologia, sendo identificadas as diferentes litologias, como aluviões, depósitos argilosos, filões de quartzo e granito monzonítico.

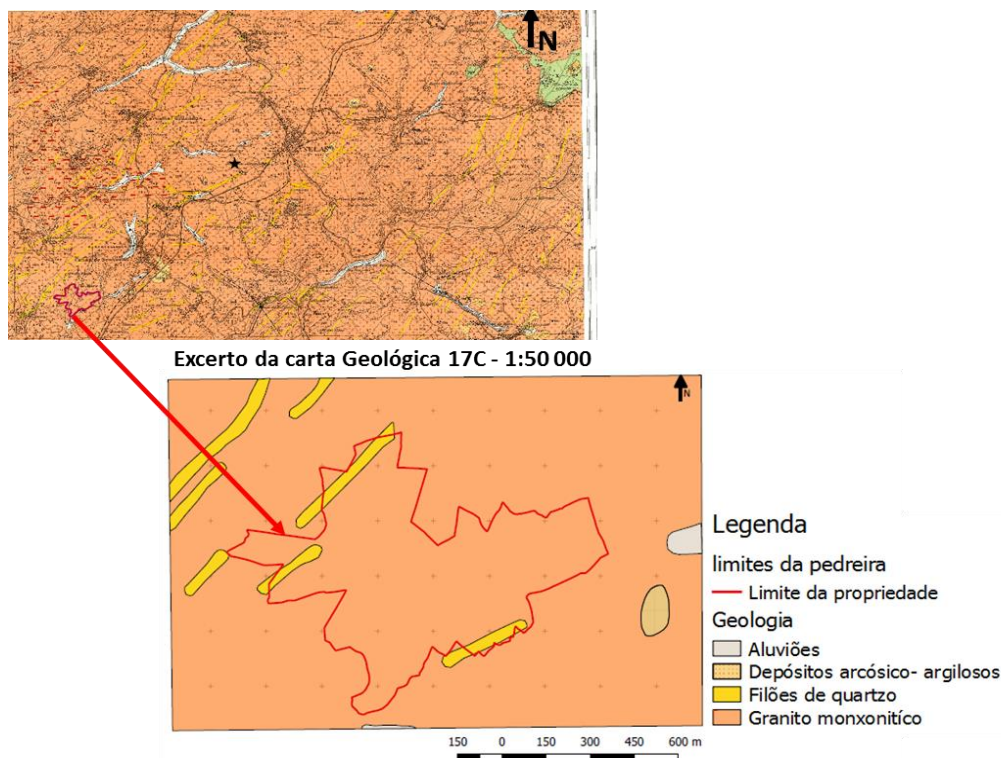


Figura 16- Extrato superior direito da Carta Geológica 17C (1:500 000) e caracterização geológica da área de exploração de Canas de Senhorim (QGis)

2.1.2.3 Solos, Ecologia e Paisagem

Segundo a informação encontrada no Atlas do Ambiente Digital, a região é caracterizada por um solo essencialmente mineral resultante da intensa alteração da rocha mãe. Este tipo de solo é classificado por um solo horizonte B (Carvalho, 2011). Relativamente à área da pedreira, não podemos considerar a existência de um solo coerente, sendo o granito aflorante.

A zona de exploração não se encontra numa área ecológica classificada, mas está inserida numa zona agro-silvo-pastoril, onde predomina o pinheiro-bravo e outros tipos de flora caraterísticas da região (Figura 61, Anexo I).

Um dos fatores importantes para a preservação da paisagem é a cortina arbórea que rodeia a pedreira, que contribui para diminuir as emissões de poeiras e a propagação de ruído para as populações que vivem nas proximidades, (Figura 17). É de realçar, que este fator também é importante para a preservação de algumas espécies, diminuindo a contaminação dos canais de água, dos solos e preservação do habitat.



Figura 17- a) Cortina arbórea NE; b) Cortina arbórea SW

2.1.3. Caracterização climática e hidrogeológica

O clima da região é caracterizado por um período húmido extenso que decorre normalmente entre o mês de outubro e maio e um período seco nos meses de julho e agosto, com uma precipitação anual menor que 1200 mm (Figura 18), dados referentes ao período de 1971 a 2000.

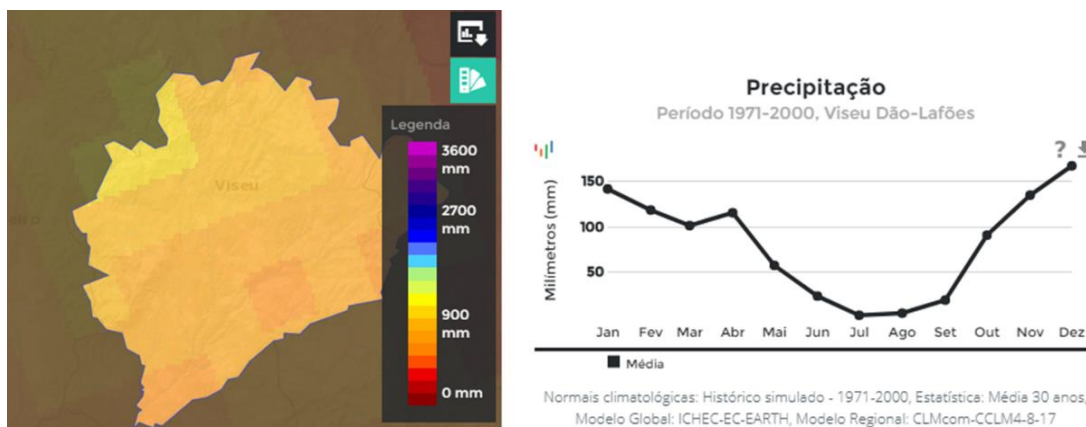


Figura 18- Precipitação na Região de Viseu, (Portal do Clima, 2018)

Os dados hídricos, descrevem uma ribeira, ribeira de Vale do Boi, que inicia o seu percurso junto à povoação de Nelas, a 3 km a Norte da pedreira, e que se desenvolve com orientação NE-SW, entre os vales dos rios Mondego e Dão, desaguando no rio Dão.

A pedreira é intercetada por um açude que recebe as descargas da ETAR, pertencente à Câmara Municipal de Nelas. Quando a água armazenada no açude excede o limite, ocorrem transbordos e inundações a jusante, (Figura 19). A jusante desse açude, a ribeira segue o seu percurso, podendo secar nas épocas de estio.



Figura 19- Açude que interseta a pedreira do Vale do Boi

Relativamente às características hidrogeológicas, trata-se de uma zona pouco permeável, e o maciço granítico tem pouca potencialidade produtiva. Neste tipo de formações a circulação em profundidade processa-se principalmente por meio de descontinuidades. Por isso, a circulação da água depende essencialmente das descontinuidades, porosidade, permeabilidade do material, da topografia e do grau de alteração do maciço envolvente.

Na pedreira existe um furo artesiano com uma profundidade de 100 m e um poço de 6 m. O furo tem uma produtividade aproximada de 3000 l/h, não secando nas épocas de estio. O furo localiza-se perto da zona de escritórios e o poço perto da unidade de manutenção dos veículos e lavagem dos *dumppers*.

2.2. Projeto de exploração

A exploração na pedreira do Vale do Boi, é uma exploração a céu aberto, com desmonte realizado com explosivos e organizado em degraus. O desmonte inicialmente ocorria da maior cota para a menor, sendo que a cota mínima (base) só pode atingir 250 metros.

2.2.1. Caracterização da massa mineral

O recurso explorado é granito, de grão médio a grosseiro, porfiroide de cor cinzenta. Em diversos locais da pedreira, é visível alteração sericítica do granito cinzento, que lhe confere um aspeto esverdeado a acastanhado, (Figura 20). A alteração existente está associada às linhas de fraturação, ao longo dos quais o granito sofreu esmagamento.



Figura 20- Alteração do granito

A noroeste (NW) da pedreira existe um filão aplito- pegmatito de grande possança, (Figura 16), constituído maioritariamente por quartzo, feldspato róseo, moscovite e turmalina (Trindade, 2009).

Estes filões estão associados a falhas, encontram-se bastante fraturados e apresentam grande grau de alteração. Esta alteração poderá ser devida à percolação de águas pelas fraturas do maciço. O granito cinzento apresenta-se pouco alterado e por isso deverá ser o de melhor qualidade.

2.2.2. Cálculo das reservas e modelo 3D

A avaliação das reservas consiste na estimativa do volume ou tonelagem de massa mineral a explorar. Uma vez que o granito que aflora é de boa qualidade (pouco alterado), o fato da massa explorada até agora ser também de boa qualidade e características, permite supor que o recurso mineral ainda por explorar irá ter as mesmas propriedades que o já explorado.

O cálculo das reservas da área em estudo foi efetuado utilizando o *software Surfer 11*, havendo tarefas iniciais realizadas no programa QGis. No QGis, foi realizado a georreferenciação da planta da pedreira do Vale do Boi, atribuindo as coordenadas corretas a cada extremo da carta, (Figura 21). O sistema de coordenadas utilizado foi Universal Transverse Mercator, datum WGS84 (WGS84/UTM zona 29N).

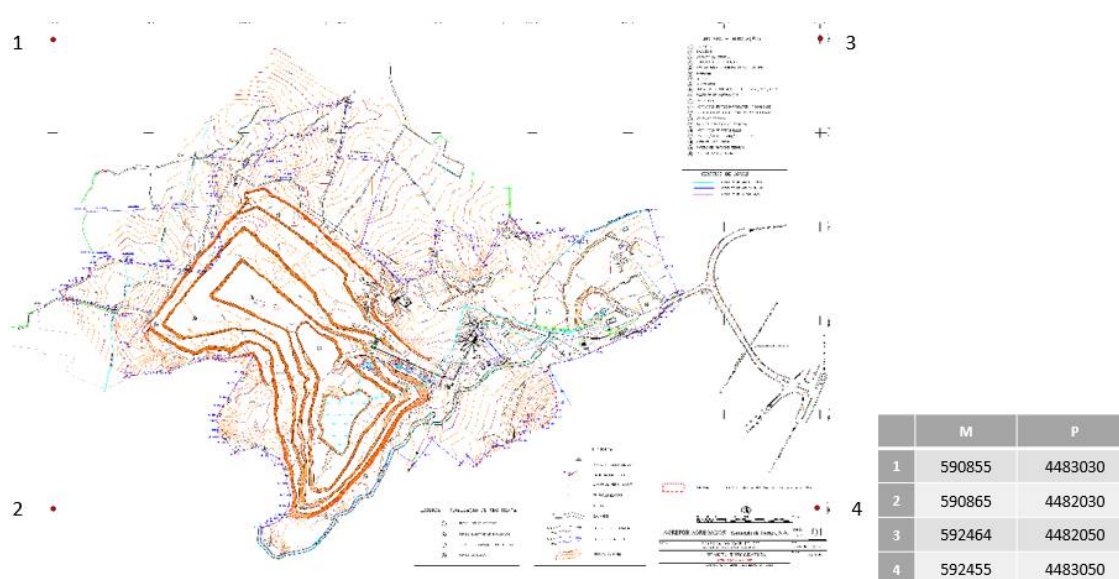


Figura 21- Georreferenciação da planta da pedreira do Vale do Boi no *software QGis*

Após a georreferenciação, procedeu-se à delimitação das várias cotas, utilizando a planta da pedreira do Vale do Boi, recorrendo ao *software Surfer 11*. A delimitação das várias cotas foi efetuada a partir da picotagem das diferentes cotas, criando-se posteriormente uma folha *Excel* com todas as coordenadas e respetivas cotas. Com o *Excel* foi possível gerar várias *grid* e obter diferentes modelos 3D da zona de exploração.

As *grid* que apresentam melhores resultados na visualização da pedreira são a *Gridding Method Inverse distance to a power* e a *Nearest Neighbor*, ainda que ambas apresentem algumas limitações.

O *Inverse distance to a power* consegue representar melhor as diferentes cotas das bancadas, porém cria limites irregulares nas mesmas bancadas. O *Nearest Neighbor* cria limites mais realistas, porém não demonstra bem as diferentes cotas das bancadas, criando ainda alguns picos nas cotas, (Figura 22).

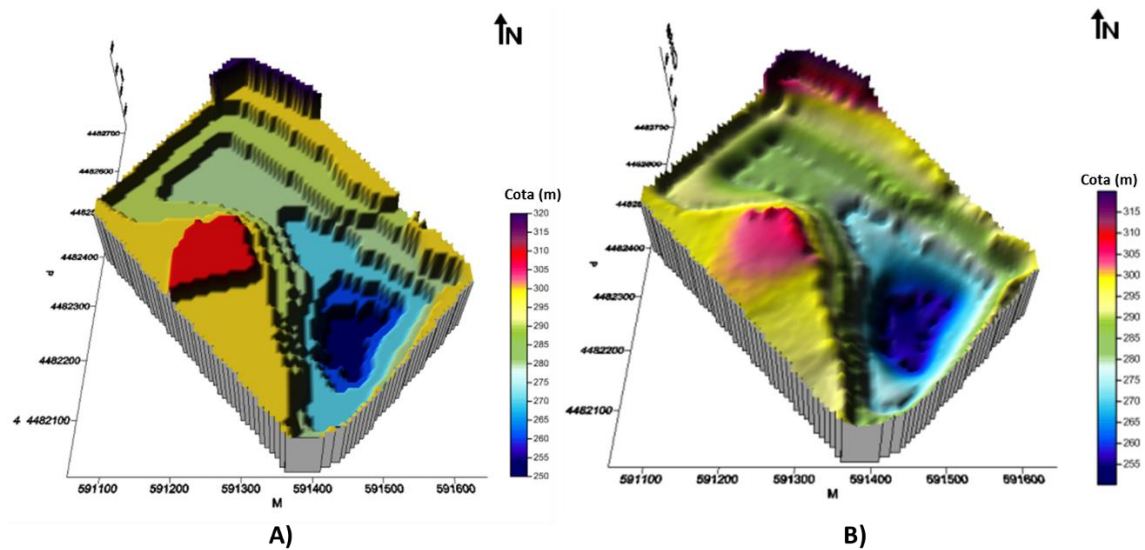


Figura 22- Modelos 3D da pedreira do Vale do Boi no *software* Surfer, A) Método de *Nearest Neighbor* e B) Método de *Inverse distance to a power*

Para o cálculo do volume das reservas, foi necessário limitar os modelos referidos anteriormente com o limite máximo da pedreira, segundo o *grid* da área, e o limite mínimo, cota de 250 m.

Segundo os modelos da Figura 23, o volume por explorar em A) é de 7 715 305,53 m³ e em B) 7 740 471,46 m³.

Como se pode verificar, existe uma diferença de 25 165,94 m³, devido à não delimitação exata das diferentes bancadas, acabando por atribuir-se mais área no método *Inverse distance to a power*.

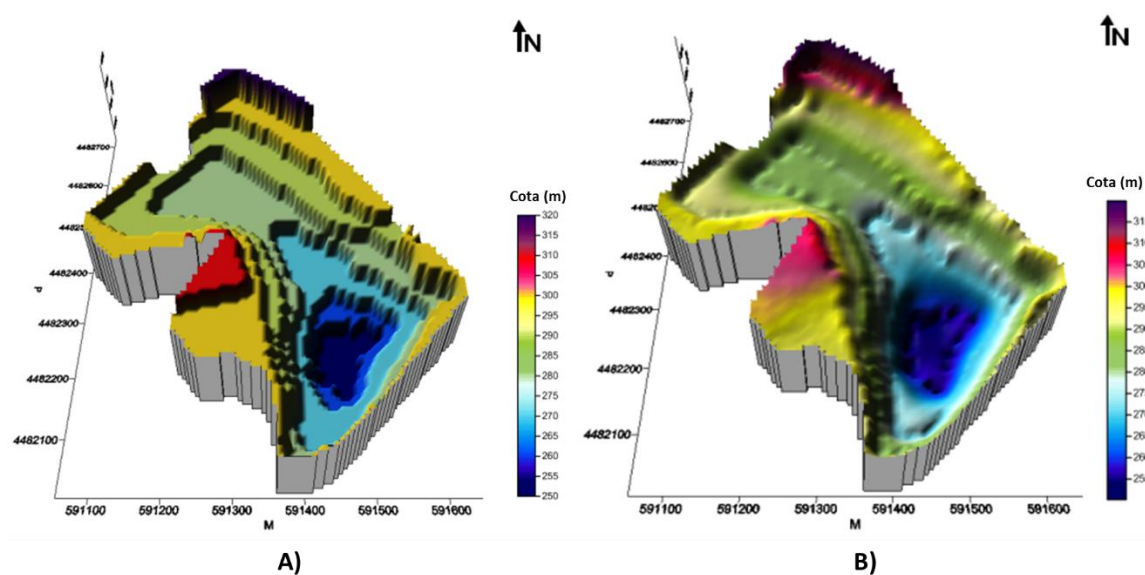


Figura 23- Modelos 3D da pedreira do Vale do Boi no *software* Surfer, A) Método de *Nearest Neighbor* e B) Método de *Inverse distance to a power*

2.2.3. Volume de stocks

A quantidade de *stocks* depende do tipo de recurso mineral. Dado que na pedreira do Vale do Boi a maior parte do recurso é vendido após produção, o volume de stocks é diminuto. No entanto, quando é necessário armazenar o produto, este é organizado em diferentes granulometrias, constituindo *stocks* ao ar livre.

Algumas medidas para controlar a libertação de poeiras são: a utilização de redes de contenção (malha pequena), não exceder alturas exuberantes e repartir em vários stocks (em caso de espaço útil), (Figura 24). As medidas a aplicar devem ser tomadas dependendo da granulometria do material e da quantidade de finos.



Figura 24- Alguns *stocks* na pedreira do Vale do Boi

2.2.4. Volume de escombros e escomboreiras geradas

A partir das informações fornecidas pela Agrepor, e por simples inspeção visual, podemos concluir que existem poucos escombros. De fato grande parte se não a totalidade do recurso explorado tem utilização comercial e, por isso, não existem preocupações na deposição de escombros e construção de escomboreiras.

Quanto à camada de terra vegetal de cobertura, ela é inexistente ou muito pouca espessa, podendo atingir no máximo uma espessura de 0,3 m. A terra vegetal da cobertura inicial, após ter sido retirada foi utilizada na recuperação de outras áreas já exploradas ou armazenada em zonas desativadas para posterior utilização.

2.3. Método de exploração

O método de exploração deve ser o mais rentável e o mais indicado para as características do recurso mineral, como o tipo de rocha, resistência, plano de falha, diáclases, dimensões dos blocos e granulometria do produto a comercializar.

Como na pedreira do Vale do Boi o recurso mineral a explorar é aflorante, optou-se por iniciar a exploração por uma cavidade a céu aberto aprofundada por desmonte por bancadas.

O desmonte na pedreira do Vale do Boi é realizado com recurso a explosivos e disparo NONEL, método seguro e económico, pois a massa mineral é consistente e sã. Após o arranque é realizada a limpeza e transporte do material até à central de britagem.

2.3.1. Método de Desmonte

Como foi referido anteriormente o desmonte depende das características da rocha, pelo que esta tem de ser avaliada, para dimensionar o método e diagrama de fogo mais eficaz, do ponto de vista técnico e económico.

O desmonte das matérias primas, com utilização de explosivos, é um processo cíclico de cinco fases:

1. Furação;
2. Carregamento dos furos;
3. Arranque;
4. Limpeza;
5. Transporte do material;

O desmonte com recurso a explosivos deve ser dimensionado tendo em conta certos parâmetros como o diâmetro dos furos a carregar, a largura e altura das bancadas e ângulo dos taludes.

A largura das bancadas deve ser suficiente para a circulação de um *dumper*, carro de ligeiros e uma berma de segurança, sendo prioritária a circulação do *dumper* nos trabalhos de limpeza e transporte. No caso da pedreira do Vale do Boi, a largura média das bancadas é de 10 m por patamar, porém nas zonas de circulação a largura é entre os 5 e os 7 m, (Figura 25).

Outro parâmetro que deve ser dimensionado é altura das bancadas de forma a garantir que o processo produtivo decorra em condições de segurança e sem obstruções aos

trabalhos de limpeza e transporte. No caso da pedreira do Vale do Boi essa altura pode variar entre os 10 e 15 m, (Figura 26).

O ângulo de furação nesta pedreira tem valores compreendidos entre os 8° e os 10° relativamente à vertical, (Figura 26).



Figura 25- a) Largura de estradas de passagem; b) Largura da rampa



Figura 26- Características de desmonte

2.3.2. Perfuração mecânica

A primeira fase do ciclo produtivo é a furação, com recurso ao *Rock driller*. Esta operação deverá ser realizada numa superfície regular e limpa e o equipamento deverá estar estável, de maneira a garantir furos paralelos entre si, retilíneos e limpos.

A furação deverá ser efetuada com o maior rigor possível para não provocar problemas aquando do carregamento dos furos. Assim, os furos não se devem interseccionar entre si nem ter paredes rugosas, de modo a manter a eficiência do arranque e não causar detonação prematura, pondo em causa a segurança das operações.

No caso da pedreira do Vale do Boi o *Rock driller* possui um painel que permite o seu controlo pelo operador da máquina. O equipamento move-se sobre lagartas, está equipado com martelo hidráulico e com dispositivo de captação de poeiras. As varas são

introduzidas automaticamente com supervisão do operador, acabando por ser um processo mais seguro do que a manipulação das varas, (Figura 27).



Figura 27- a) Posicionamento do *Rock Driller* para a perfuração; b) Furação com a introdução das varas

Antes da furação é necessário dimensionar o diâmetro do furo (D) de forma a cumprir alguns critérios, como grau de fragmentação pretendido, ritmo de produção e altura da bancada. Quando é utilizado um diâmetro do furo inadequado, poderá haver projeções aéreas, fraturação indesejada, blocos com dimensões não adequadas ao produto final comercializado pela empresa.

A fraturação em blocos grandes e difíceis de trabalhar, levam a recorrer ao taqueio. Esta operação, também conhecida por arranque secundário, é um dos maiores entraves ao ciclo industrial de uma pedreira, pois interrompe o ciclo normal de produção. Na pedreira do Vale do Boi as operações de taqueio, quando necessárias, são executadas pelo martelo demolidor ou por explosivos.

Na furação é utilizada uma broca (*bit*), que permita realizar um furo com diâmetro projetado. Na pedreira do Vale do Boi, é utilizado um diâmetro de 0,089m, para obter a fragmentação ideal para os produtos que se pretendem comercializar no final do processo.

Na Figura 28 ilustra-se a relação entre o diâmetro de furo e o tamanho do produto.

23–127 mm 29/32 – 5 in	85 – 216 mm 3 3/8 – 8 1/2 in	251 – 440 mm 9 7/8 – 17 in

Figura 28- Diâmetro do furo

2.3.3. Diagrama de Fogo

Antes do operador realizar os furos deve ter conhecimento do plano de furação. A furação deve ser comandada por um operador (especializado neste setor), para garantir alguns parâmetros estipulados, tais como o diâmetro do furo (D), afastamento da frente (V), comprimento do furo (H), subfuração(U), espaçamento(E) e inclinação do furo(i), (Figura 29). Os valores que se podem observar na Figura 29, são os valores utilizados atualmente na pedreira do Vale do Boi.

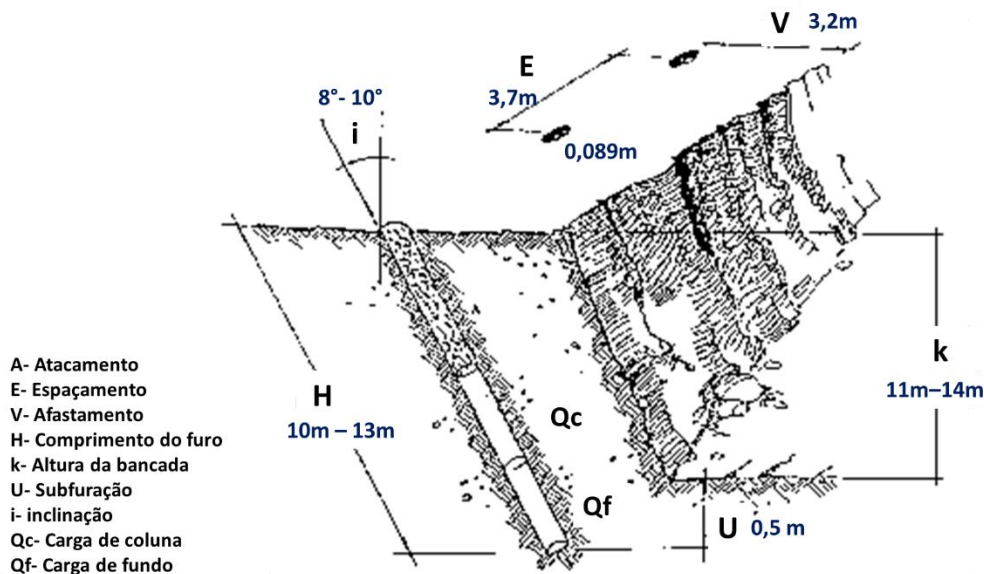


Figura 29 - Esquema do diagrama de fogo da pedreira do Vale do Boi, retirado (LNEG, 2017)

No dimensionamento do diagrama de fogo, o diâmetro de furo é escolhido de acordo com a fragmentação que se pretende obter, conforme Figura 28.

Pode-se dimensionar os restantes parâmetros pelas equações seguintes:

Equação 1 $V = 0,045 * D$ (diâmetro do furo em mm) [m]

O afastamento da frente (V) também pode ser obtido através da Figura 30, sendo o valor utilizado no cálculo do diagrama de fogo.

Equação 2 $K = V * (Const)$ [m]

O valor da constante (Const) é retirado da Figura 30, para uma inclinação de 8°.

Equação 3 $E = 1,25 * V$ [m]

Equação 4 $U = 0,3 * V$ [m]

Equação 5 $H = (U + K) * i$ [m]

As equações acima referidas foram extraídas de (Daniel, 1999).

Os valores do afastamento (V) e do fator inclinação podem ser calculados pela Figura 30.

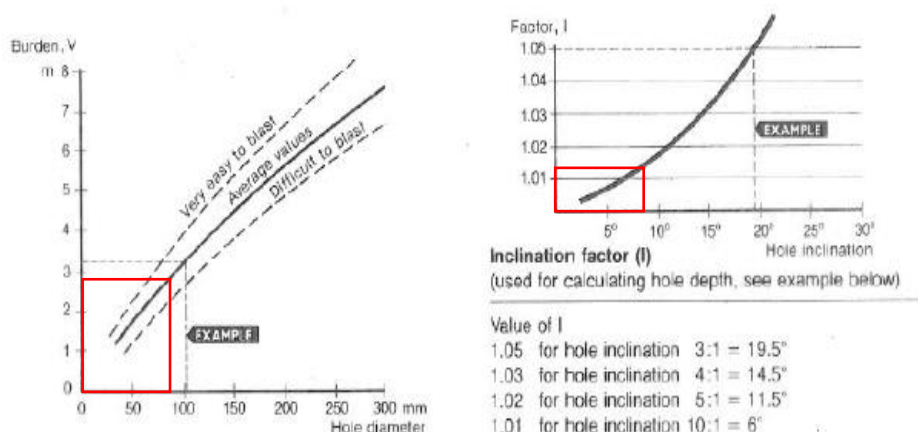


Figura 30- Cálculo do afastamento e do fator inclinação

A subfuração (U) na pedreira é de 0,5 m, que corresponde à diferença entre o comprimento do furo (H) e a altura da bancada (K). A subfuração (U) é necessária para melhorar a fragmentação e a distribuição do escombro, para aumentar o rendimento da limpeza e não criar repé, que pode levar a problemas adicionais na circulação e na segurança das operações. Caso isso aconteça, é necessário arranque secundário, o que levará ao aumento significativo de custos operacionais.

A subfuração excessiva também pode acarretar problemas para o ciclo normal de trabalhos, como o excesso de fragmentação na base da bancada e a instabilidade de taludes.

O plano da exploração estabelece que o número de fiadas (linhas) é de três (limite máximo na pedreira do Vale do Boi). O número de furos dependerá da quantidade de material que se pretende obter.

Uma vez calculados os valores teóricos do diagrama de fogo é necessário verificar se eles cumprem os fatores de segurança inerentes às boas práticas de desmonte em pedreiras.

A **Tabela 1** mostra que para um diâmetro de furação de 0,089m a altura máxima (k) admissível de bancada é de 15m. Assim, a altura calculada está dentro dos limites estabelecidos.

Tabela 1- Altura da bancada (k) em função do diâmetro do furo (D), (Daniel, 1999)

Diâmetro do furo mm. (")	Altura mínima (m)	Altura recomendada (m)
38 (1½)	3,5	3,5 a 5,0
51 (2)	4,6	4,6 a 10,0
64 (2½)	5,8	5,8 a 12,0
75 (3)	6,7	6,7 a 15,0
100 (4)	9,0	9,0 a 20,0

2.3.3.1 Cálculo da carga de explosivos

Para o dimensionamento da folha de cálculo do diagrama de fogo são necessárias várias fórmulas para obtenção de parâmetros importantes. As equações que se seguem foram obtidas de (Daniel, 1999), (Equação 6, Equação 7, Equação 8, Equação 9, Equação 10, Equação 11, Equação 12, Equação 13, Equação 14, Equação 15, Equação 16, Equação 17).

A média de volume de rocha extraída por furo (Vrocha) pode ser calculado por a seguinte equação:

Equação 6 $V_{rocha} = V * E * K [m^3]$

De forma a saber a quantidade de metros que tenho de arrancar para obter 1 m³, deve-se calcular através de:

Equação 7 $b = \frac{H}{V_{rocha}} [m]$

A carga de um furo é a carga total de explosivos carregados, e é calculada através de três parâmetros:

- Carga de fundo (Qf);
- Atacamento (A);
- Carga de coluna (Qc);

O cálculo da carga de fundo depende de dois fatores, da altura da carga de fundo (hQf), (Equação 8) e do peso de explosivos por metro de furo (Qf por metro), (Equação 9). Após o cálculo de ambos, obtemos o valor total da carga de fundo (Qf total), (Equação 10).

Equação 8 $hQf = 1,3 * V [m]$

Equação 9 $Qf \text{ (por metro)} = \frac{D(mm)^2}{1000} \left[\frac{kg}{m} \right]$

Equação 10 $Qf \text{ total} = Qf * Qf \text{ (por metro)} [kg]$

O atacamento (A) é um parâmetro de cálculo utilizado para evitar projeções e garantir a eficiência da pega, pela saída do furo só devem ser libertados gases da pega. Normalmente o valor do afastamento (A) é igual ao afastamento da frente (V), (Equação 11):

Equação 11 $A = V[m]$

O cálculo da carga de coluna vai depender de dois parâmetros:

Equação 12 $h_{Qc} = H - Q_f - \text{Atacamento} [m]$

Equação 13 $Q_c (\text{por metro}) = 0,5 * Q_f (\text{por metro}) [\frac{kg}{m}]$

Assim, podemos obter a carga de coluna total (Q_c total):

Equação 14 $Q_c \text{ total} = Q_c * Q_c (\text{por metro}) [kg]$

A carga total por furo, representa a quantidade (kg) de explosivos carregados em cada furo, (Equação 15), sendo o conjunto da carga de fundo com a carga de coluna. De forma a dinamizar a carga total por cada pega, deve-se fazer o produto da carga pelo número de furos, (Equação 16).

Equação 15 $Q_{\text{total por furo}} = Q_f \text{ total} + Q_c \text{ total} [kg]$

Equação 16 $Q_{\text{total por pega}} = Q_{\text{total por furo}} * N^{\circ} \text{ furos} [kg]$

O consumo específico pode definir-se como a relação entre o peso de explosivo (kg) utilizado na pega de fogo e o volume total de rocha desmontada (m^3).

Equação 17 $\text{Consumo específico} = \frac{Q_{\text{total por furo}}}{V_{\text{rocha}}} [\frac{kg}{m^3}]$

Para diminuir o consumo específico, pode haver ajustamento do afastamento (V) e o espaçamento entre furos (E), melhorando os resultados de fragmentação e arranque.

O cálculo da carga específica (CE) da empresa responsável por o carregamento e arranque, foi feito utilizando a seguinte fórmula, (fornecida pela Agrepor de Canas de Senhorim):

Equação 18 $CE = \frac{M_{\text{exp}}}{N^{\circ} \text{ furos} * H * E * V * 2,6} [\frac{Kg}{ton}]$

Em que M_{exp} é a carga total de explosivos em kilos (kg), $N^{\circ} \text{ furos}$ o número de furos, H o comprimento do furo (m), E espaçamento (m), V afastamento (m) e 2,6 é a conversão para toneladas.

2.3.3.2 Carregamento de furos

No caso desta pedreira, não existe carga de fundo (Q_f) nem a carga de coluna (Q_c), sendo o furo preenchido completamente por cartuchos até ao limite do atacamento (A).

O carregamento dos furos é feito manualmente, cartucho a cartucho, e o atacamento (A) é feito com terra. O cartucho escorvado é o primeiro a ser introduzido no furo.

Os explosivos utilizados na pedreira de Vale do Boi são do tipo emulsão encartuchada, mais propriamente *Gemulit super*, de diâmetro 0,1 a 0,07 m. O carregamento deste tipo de explosivos requer operadores especializados e devidamente equipados.

O esquema de ligação usado entre os furos é designado por espinha de peixe, Figura 31. Este tipo de ligação permite um processo otimizado no arranque da pedra, causando menos vibrações e melhor fragmentação, e garante maior segurança, pois, caso alguma ligação intermédia não detone, as ligações posteriores param.

Os detonadores e ligadores utilizados são *Nonel*, permitindo maior controlo na temporização dos furos, maior segurança, melhor arranque da pedra, menos vibrações e melhor fragmentação do produto final.

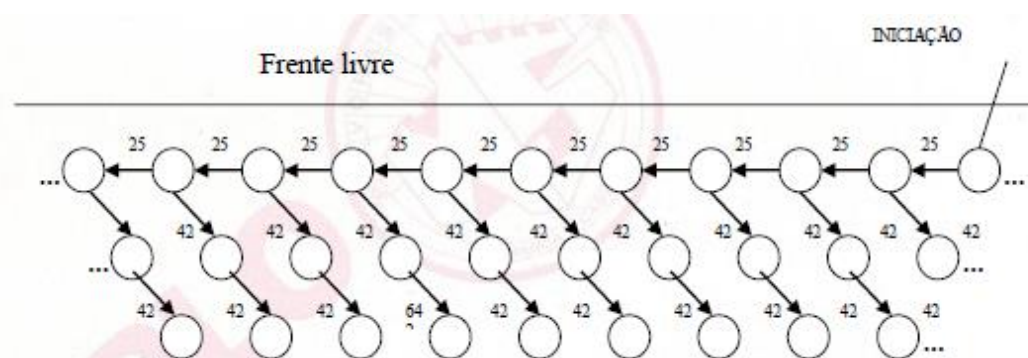


Figura 31- Esquema da ligação em espinha de peixe, Moura Silva &Filhos, S. A

A empresa especializada que efetua o carregamento dos furos e sua detonação é Moura Silva & Filhos, S.A. A ordem de trabalhos neste processo deve ser respeitada e rigor. Os trabalhos a executar são o carregamento, ligações, detonação, a verificação do sucesso/insucesso da pega e em caso de insucesso propõe soluções que garantam a segurança dos operadores que vão fazer a limpeza e transporte.

O sistema de iniciação *Nonel* compreende um detonador independente do explosivo primário e um sistema de iniciação elétrico. O sistema de iniciação consiste numa onda de choque conduzida até ao interior do tubo de *Nonel*, fazendo com que dê início o rebentamento.

Os componentes utilizados no sistema de detonação são:

- Tubo *Nonel*;
- Detonador, estando disponível em diferentes tempos de retardo;
- Ligador, estando disponível em vários tipos de retardamentos;
- Grampo múltiplo;

Para se efetuar o carregamento dos furos com explosivos deve proceder-se às seguintes operações:

- Disposição de todo o material por cada furo, (Figura 32 a));
- Junção da ligação *Nonel* e respetivo detonador ao primeiro cartucho da carga de fundo, (Figura 32 b));
- Carregamento do furo, (Figura 32 c));
- Atacamento do furo com brita, (Figura 32 d));
- Realização das ligações *Nonel*: instalação dos retardos;
- Preparação e instalação da ligação rastilho e um detonador pirotécnico para iniciar a ligação *nonel*;
- Afastamento de pessoal e equipamentos/veículos móveis;
- Aviso sonoro;
- Disparo;
- Verificação do local;
- Queima das caixas (caso a época do ano seja a indicada, caso não seja, levam de volta para realizar a queima num lugar confinado);



Figura 32- a) Distribuição dos cartuchos; b) Colocação do detonador no 1º cartucho e laço de porco; c) Enchimento com os restantes cartuchos; d) Colocação do fio preso numa pedra

2.3.3.3 Pegas do dia 3/04/2017 e 2/05/2017

Nas pegas dos dias 3/04/2017 e 2/05/2017, foram carregados, respetivamente, 60 e 58 furos. As duas pegas foram realizadas com a mesma orientação de desmonte (NE para SW), (Figura 33 e Figura 34).

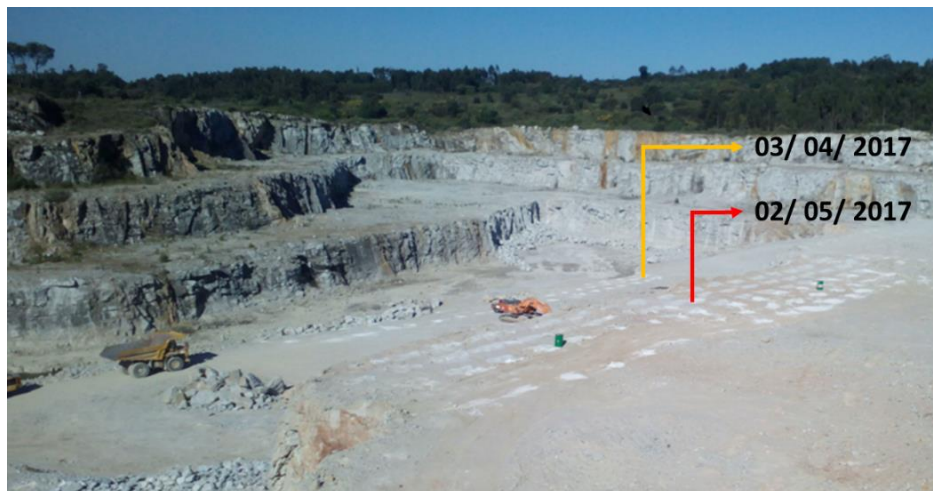


Figura 33-Localização das pegas

Atualmente, como o mercado é volátil, não é possível estimar uma quantidade anual de produto a desmontar nem o número de horas que são necessárias para esse desmonte.

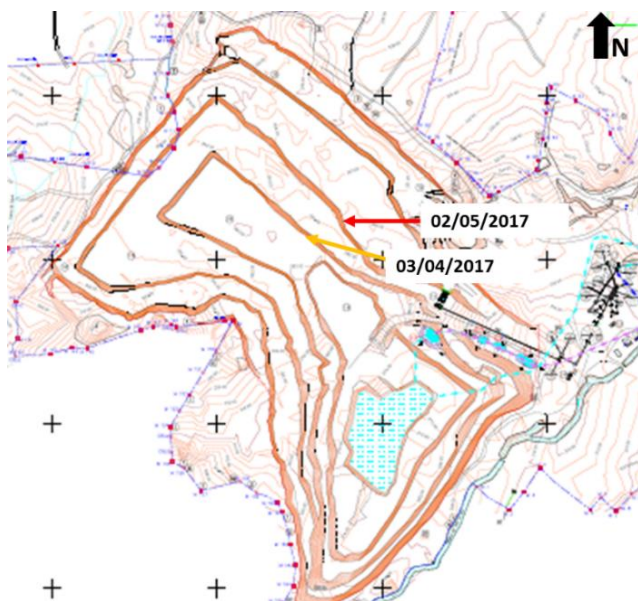


Figura 34- Localização das pegas por bancada, excerto da planta da pedreira do Vale do Boi

A Figura 35 corresponde a um volume de desmonte de 9235,2 m³ e a Figura 36 corresponde a um volume de desmonte de 8927,4 m³.



Figura 35- Pega do dia 3 de abril de 2017: a) Vista superior antes da pega; b) Vista superior após a pega; c) Vista lateral após a pega



Figura 36- Pega do dia 2 de maio de 2017: a) Vista superior antes da pega; b) Vista superior após a pega; c) Vista lateral antes da pega; d) Vista lateral após a pega

Em relação ao diâmetro de furo (D), e no caso desta pedreira, o valor utilizado no diagrama de fogo é de 0,089 m. Considerando as equações anteriores, calculou-se o diagrama de fogo teórica na Tabela 2.

Tabela 2- Diagrama de fogo teórico: 1- 3 de abril de 2017; 2- 2 de maio de 2017

Tipo de rocha		Granito
Densidade	(ton/m³)	2,6
Diâmetro	(m)	0,089
V (afastamento)	(m)	2,80
E (distância entre furos)	(m)	3,50
U (subfuração)	(m)	0,84
K (altura da bancada)	(m)	12,60
H (comprimento do furo)	(m)	13,61
Vrocha	(m³)	123,48
b	(m/m³)	0,11

1.	hQfundo	(m)	3,64
	Qfundo/m	(kg/m)	7,92
	Qfundo total	(kg)	28,83
	Atacamento	(m)	2,80
	hQcoluna	(m)	7,17
	Qcoluna/m	(kg/m)	3,96
	Qcoluna total	(Kg)	28,42
	Qttotal de explosivos	(kg)	57,25
	Qttotal por pega	(kg)	3434,88
	Consumo especifico	(Kg/m³)	0,46

2.	hQfundo	(m)	3,64
	Qfundo/m	(kg/m)	7,92
	Qfundo total	(kg)	28,83
	Atacamento	(m)	2,80
	hQcoluna	(m)	7,17
	Qcoluna/m	(kg/m)	3,96
	Qcoluna total	(Kg)	28,42
	Qttotal de explosivos	(kg)	57,25
	Qttotal por pega	(kg)	3320,38
	Consumo especifico	(Kg/m³)	0,46

Os valores utilizados efetivamente nesta pedreira encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3- Diagramas de fogo realizados pela empresa Moura Silva & Filhos, S.A, -1) 3 de abril de 2017; 2) 2 de maio de 2017

1.	Comprimento dos furos (m)	13,0
	Distância à frente (m)	3,2
	Espaçamento (m)	3,7
	Tampão (m)	2,0
	Número de furos (un)	60
	Número de fiadas (un)	2
	Quantidade explosivo (kg)	3400,0
	Volume desmontado (ton)	9235,2
	Carga específica (kg/ton)	0,368
	Metros de furo (m)	780
	Perfuração específica (mf/ton)	0,08
	Diâmetro de furação (mm)	89

2.	Comprimento dos furos (m)	13,0
	Distância à frente (m)	3,2
	Espaçamento (m)	3,7
	Tampão (m)	1,6
	Número de furos (un)	58
	Número de fiadas (un)	3
	Quantidade explosivo (kg)	3500,0
	Volume desmontado (ton)	8927,4
	Carga específica (kg/ton)	0,392
	Metros de furo (m)	754
	Perfuração específica (mf/ton)	0,08
	Diâmetro de furação (mm)	89

Como podemos ver pelos resultados da empresa Moura Silva & Filhos, S.A (Tabela 3), existem algumas diferenças em relação aos dados teóricos obtidos na Tabela 2, tais como afastamento (V), espaçamento (E), atacamento (A), quantidade de explosivos (kg) e carga específica (CE).

De forma a relacionar os parâmetros principais de desmonte, número de furos, altura da bancada, espaçamento e afastamento, com a quantidade de explosivos necessários, calculou-se a carga específica, sendo os valores de desmonte menores, quanto menor for a carga específica.

Observando a Tabela 3 podemos concluir que a carga específica aumenta na segunda pega (2 de maio de 2017), devido à diminuição de números de furos e do comprimento do tampão e do aumento da quantidade de explosivos.

Relativamente ao maciço, a litologia em ambos os locais é semelhante. Na zona da pega do dia 3 de abril de 2017, observou-se a existência de diáclases, provocando deslizamento de blocos posicionados na última fileira, ficando presos ao maciço e resultando numa fragmentação indesejada nessa secção, (Figura 35 c)). Relativamente à pega do dia 2 de maio de 2017, não se verificou a existência de diáclases.

Relacionando todos os fatores referidos acima, pode-se concluir que a pega do dia 2 de maio de 2017 foi a mais eficiente.

2.3.3.4 Cálculo das vibrações

A boa prática de desmonte em pedreiras exige a estimativa das vibrações provocadas nas operações de arranque, para aferir se é possível utilizar os explosivos de forma segura e sem danos para as construções vizinhas.

A distância de segurança (Ds), para a qual as vibrações provocadas pela carga (Q) não causam danos nas construções, pode ser estimada pela fórmula:

$$\text{Equação 19} \quad Ds \geq 22,5 * Q^{\frac{1}{2}} [\text{m}]$$

Esta equação é estipulada segundo o critério USBM (*United States Bureau Mines*).

A velocidade de vibração (v) no local a uma distância (d) da detonação da carga (Q), pode ser calculada pela equação:

$$\text{Equação 20} \quad v = k * \sqrt{\frac{Q}{d^2}} \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

Esta equação é estipulada segundo (Daniel, 1999), em que v é a velocidade de pico crítica da partícula por mm/s. Q é um parâmetro da rocha ligada à capacidade de dispersão das ondas, (K é igual a 400 para granito são, k é igual para 200 para rocha branda, k é igual a 100 para rocha solta).

Q quantidade de explosivos por retardo em kilos (kg) e D distância entre a detonação e o local em estudo em metros.

Outro modo de calcular a velocidade crítica (mm/s), num local a uma distância (d) de uma detonação de uma carga (Q) é:

Equação 21 $V = a * Q^b * d^c \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$

A Equação 21 é estipulada por (Johnson, 1971), em que a,b e c são variáveis, cujos os valores estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores das variáveis a, b e c, para diversos maciços, (Johnson, 1971)

MACIÇO ROCHOSO	FONTE	a [mm/s]	b	c
Xisto-grauvaque (Beliche, Algarve)	Remísio (1994)	1598	0,88	-2,06
Granito, Gneiss, Pegmatito	Holmberg (1982)	700	0,7	-1,5
Hematite	Dinis da Gama (1979)	380	0,73	-1,87
Calcário	Dinis da Gama (1997)	580	0,6	-1,4
Calcário pisolítico	VISA Consultores (1999)	500	0,42	-1,22
Basalto	Dinis da Gama (1997)	2000	0,7	-1,9

Pelos dados da Tabela 3, dados obtidos pela empresa Moura Silva & Filhos, S.A e pela Equação 19, estima-se uma distância mínima de 169m.

Pela Equação 21, estima-se uma velocidade de vibração de pico de 5,4 (mm/s).

Relacionando este valor com a Tabela 5 e com as características da zona, podemos observar que a pega está dentro dos valores limites. Não provocando danos nas construções vizinhas.

Tabela 5- Valores limites de velocidade de vibração de pico (mm/s), (Esteves, 1993)

TIPOS DE CONSTRUÇÃO	Solos incoerentes solos, areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes, solos coerentes moles e muito moles	Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média, solos incoerentes compactos, areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes	Rocha e solos coerentes rijos
Construções que exigem cuidados especiais	2,5	5	10
Construções correntes	5	10	20
Construções reforçadas	15	30	60

2.3.4. Fragmentação Secundária/ Taqueio

Após o rebentamento, as tarefas a executar consistem na remoção e transporte do material. Devido a diversos fatores, nem sempre se conseguem as dimensões apropriadas para transportar o material com segurança ou a fragmentação é superior à suportada pelo britador primário. Nestes casos é necessária a fragmentação secundária/ taqueio (Figura 37 e Figura 39).

Quando o material é de dimensões demasiado grandes o operador da giratória, tenta fragmenta-lo provocando a sua queda natural, (Figura 38). Quando não se fragmenta é necessário realizar o taqueamento.

No caso da pedreira de Vale do Boi a fragmentação secundária é realizada mecanicamente ou com recursos a explosivos. O taqueio consiste na fragmentação da rocha em blocos mais pequenos, com recurso ao *Rock Driller*, (Figura 39).



Figura 37- a) Giratória; b) Martelo acoplado

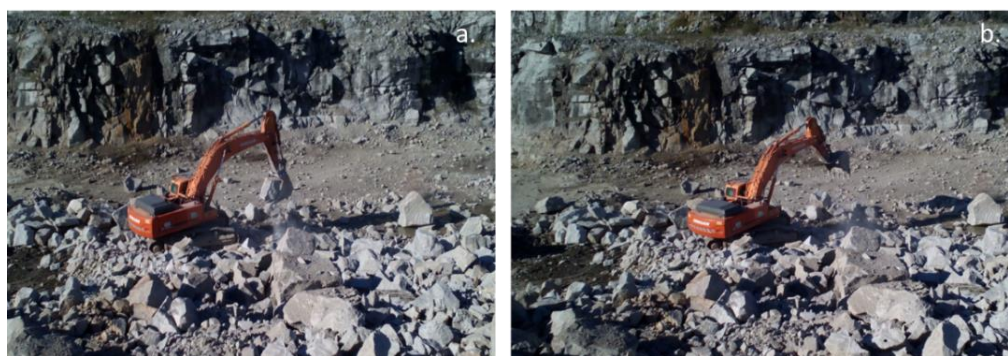


Figura 38- a) Elevação do material com a pá carregadora; b) Queda do material e sua fragmentação



Figura 39- Fragmentação secundária com o auxílio da giratória com martelo acoplado

O recurso a explosivos tem caráter excecional.

2.4. Limpeza e Transporte

Os trabalhos de limpeza e transporte são realizados por dois *Dumpers* e uma giratória com pá carregadora. Este trabalho é coordenado para todo o equipamento ser rentabilizado durante um turno. Após o carregamento do *Dumper*, (Figura 40), o material é transportado para o britador primário, fazendo-se a descarga no alimentador, (Figura 41).



Figura 40- a) Carregamento do *Dumper*; b) Condicionamento da carga; c) Zona de troca



Figura 41- a) Aguardando autorização para a descarga; b) Descarga do material; c) Material no alimentador

O operador da giratória é responsável por:

- Avaliar as dimensões do material a processar;
- Selecionar o material, pois não é permitido, para segurança dos trabalhadores, material acima da granulometria permitida e material pouco acondicionado;
- Regularizar o piso e remover material que possa danificar os equipamentos;

Para as tarefas de transporte e limpeza serem realizadas com total segurança, devem ter-se consideração alguns aspetos, como respeitar a sinalização imposta em toda a pedreira, os *dumpers* carregados circulam junto ao talude e a circulação dos *dumpers* é prioritária em relação aos pedestres ou a veículos ligeiros.

2.5. Tratamento e Beneficiação

Após o arranque, limpeza e transporte é necessário que o recurso mineral passe por diversas etapas de tratamento e beneficiação, para se obterem os produtos desejados para a indústria/ mercado. Para isso, construiu-se uma central de britagem e crivagem que tem por finalidade reduzir a granulometria da matéria prima e posteriormente conduzi-la para os locais de armazenamento.

A britagem primária é a central dos produtos nobres e é feita através do britador de maxilas, (Figura 42), que fragmenta o material proveniente da frente de desmonte.



Figura 42- a) Britador primário Metso C145

O britador primário fixo é constituído pelo alimentador, mandíbulas de maxilas e por um braço hidráulico, (Figura 43).

A boca do britador tem uma capacidade de 0,7 m³ por minuto para processar o material, não devendo esta capacidade ser ultrapassada. As maxilas podem ser ajustadas, consoante o tipo de granulometria que se pretende obter, (material mais grosseiro ou mais fino), sendo o ajuste necessário para evitar o desgaste acentuado e anómalo das mandíbulas. Como se pode ver na Figura 43 c), as maxilas devem ser invertidas ou trocadas quando apresentam desgaste superficial, para não alterar a granulometria desejada do produto triturado.

O braço hidráulico é utilizado para remover o material retido no equipamento, garantindo a segurança dos operários.



Figura 43- Britador de maxilas primário: a) entrada do alimentador; b) saída do alimentador; c) Mandíbulas de maxilas; c) Braço hidráulico

Após a fragmentação do material, este é conduzido por uma tela transportadora, que o leva a um primeiro crivo (1), (Figura 44).

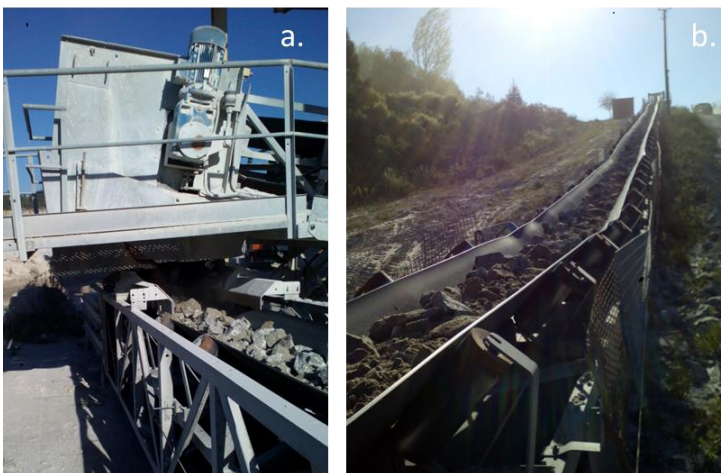


Figura 44- a) Saída do material; b) Tela transportadora

Este primeiro crivo, *Scalping*, seleciona três granulometrias diferentes: Rachão gabiões ($> 90\text{mm}$), Rachão britado ($< 90\text{mm}$) e *Tout Venant/Tout Venant 1ª* ($0/30\text{mm}$), que vão diretamente para o pré stock. Cada tela transportadora está equipada com um aspersor para reduzir as poeiras.

Na Figura 45 a), podemos observar os três primeiros pré depósitos do crivo *Scalping*. Quando há acumulação excessiva dos pré depósitos, procede-se ao transporte dos mesmos pela pá carregadora para o stock.



Figura 45- a) Transporte pela tela transportadora até ao crivo *Scalping* (C1); b) Transporte do Rachão Britado para o pré stock; c) Pré stock

No início da linha do pré stock, existe um íman que retém todo o material com propriedades ferromagnéticas, (Figura 46), como por exemplo pedaços de metal, pregos, etc. A remoção deste material é necessária pois pode causar danos nos equipamentos.



Figura 46- Imã do pré-stock

No ciclo do tratamento e beneficiação desta pedreira existem vários moinhos. Cada moinho é precedido de um crivo cuja a função é selecionar o material consoante a sua granulometria. O material mais grosseiro, entra no moinho onde é sujeito a choques e desgaste para diminuir a granulometria. Os moinhos utilizados são o moinho cónico Automax 1300, o moinho cónico Nordberg HP 200 e o moinho cónico Automax 1000, (Figura 47).

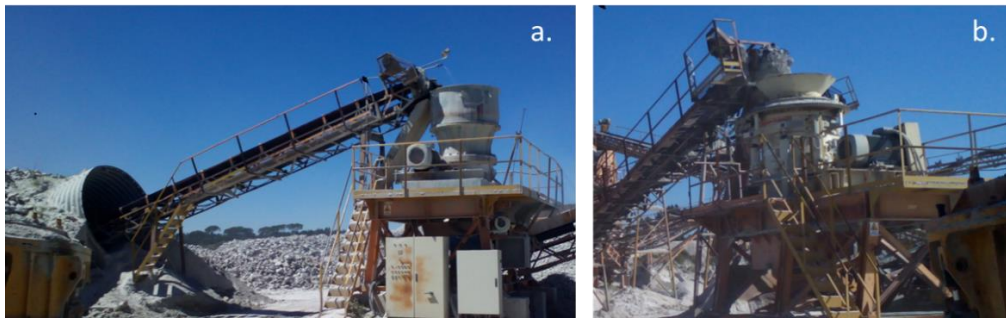


Figura 47- a) Moinho cónico Automax 1300, b) Moinho cónico Nordberg HP 200

Os crivos separam o material em várias granulometrias, (Figura 48), através da vibração contínua das várias malhas de aço inclinadas, (15° com a horizontal). Por cima dos crivos e do material a processar existem capas de plástico grossas que ajudam a diminuir a emissão de poeiras e impedem projeções.

É também necessário verificar as malhas regularmente, para remover eventual material retido devido à sua granulometria e inspecionar possíveis ruturas das malhas devido ao seu desgaste.



Figura 48- a) Crivo 2 e 3; b) Crivo 4

Como se observa na Figura 48 a), do Crivo 2 resultam dois pré depósitos de produto, (brita 3 e a brita 4), do crivo 3, Figura 48 a) resulta gravilha 16/31,5 mm, gravilha 4/8 mm e gravilha.

O produto com granulometria inferior à do crivo 3, prossegue o seu ciclo para o crivo 4, Figura 48 b). Do crivo 4 resultam dois pré depósitos, gravilha 5/15 mm e gravilha 15/25 mm.

Para além dos crivos, no processo de tratamento e beneficiação, existe um lavador de areias que separa a areia 0/4 mm da areia mista 0,08/5 mm, (Figura 49). A areia mista resulta de material residual proveniente da nora, o que justifica o cruzamento de intervalos de granulometrias entre a areia e a areia mista.

O fornecimento da água é feito a partir do depósito interior, situado ao lado do lavador da nora, (Figura 50).



Figura 49- Nora e produção de areias

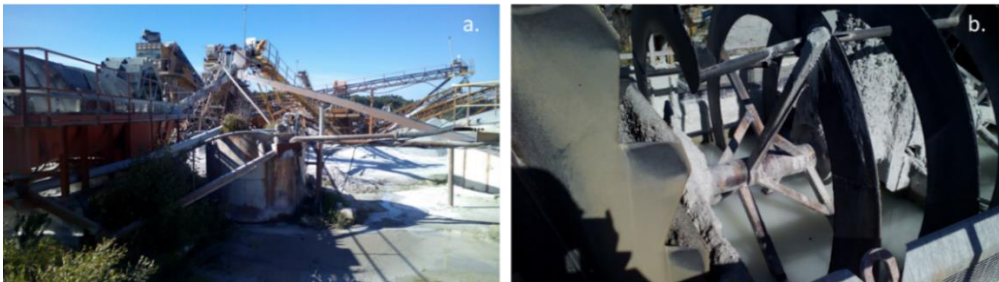


Figura 50- a) Nora e depósito intermédio, b) Interior da Nora

Para além da central de britagem dos produtos nobres, existe uma central de britagem dos produtos não nobres. Atualmente não é utilizada com muita frequência, sendo apenas utilizada para o *Tout Venant 1ª* e *Tout Venant 2ª*.

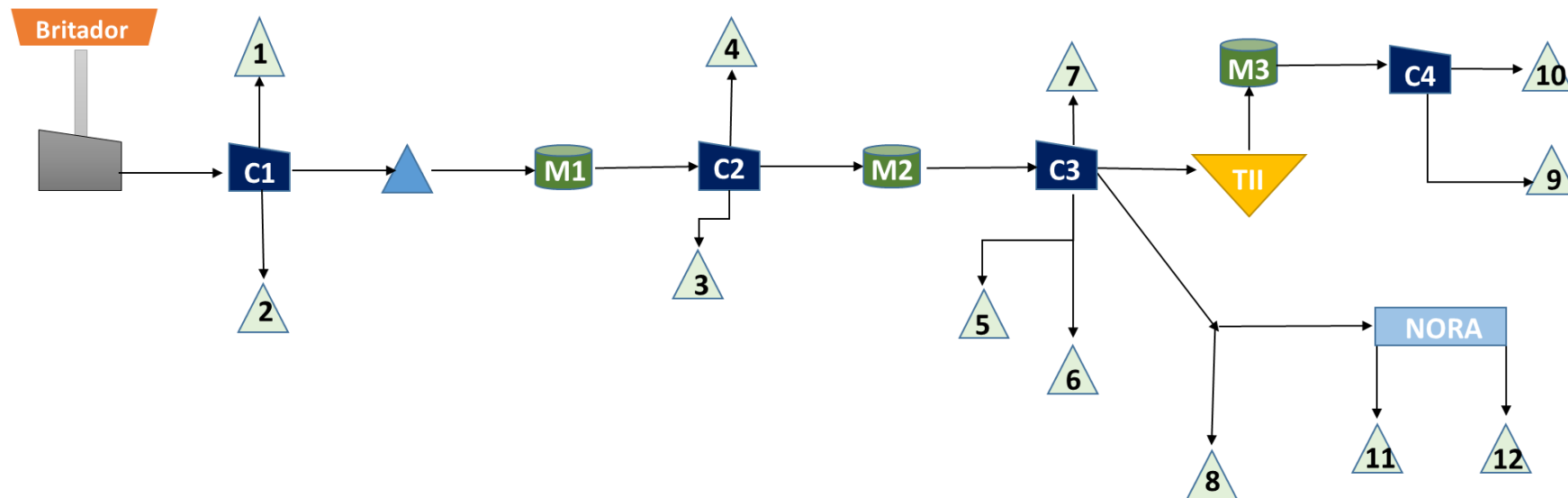
O *Tout Venant 1ª* e *Tout Venant 2ª* são materiais resultantes dos restos da pedra, sendo a granulometria do *Tout Venant 2ª* inferior à do *Tout Venant 1ª*. Estes produtos não nobres são utilizados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos, utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção civil. Um dos motivos da sua pouca utilização, prende-se com o baixo valor económico dos produtos produzidos.

Após o acompanhamento ao longo do estágio do processo de tratamento e de beneficiação do minério, foi possível construir um novo diagrama (Figura 51). Comparando com o diagrama inicial (Figura 52), podemos observar algumas modificações no sentido de melhorar todo o ciclo produtivo.

As modificações identificadas foram:

- Desativação parcial da central dos produtos não nobres;
- Remoção de uma tremonha do ciclo;
- Desativação dos hidrociclones;

De fato, estas modificações foram provocadas pela pouca procura de alguns produtos, devido a flutuações do mercado. Por isso é necessário adaptar o ciclo da pedreira, de forma a diminuir os gastos e a otimizar os processos.



Legenda:

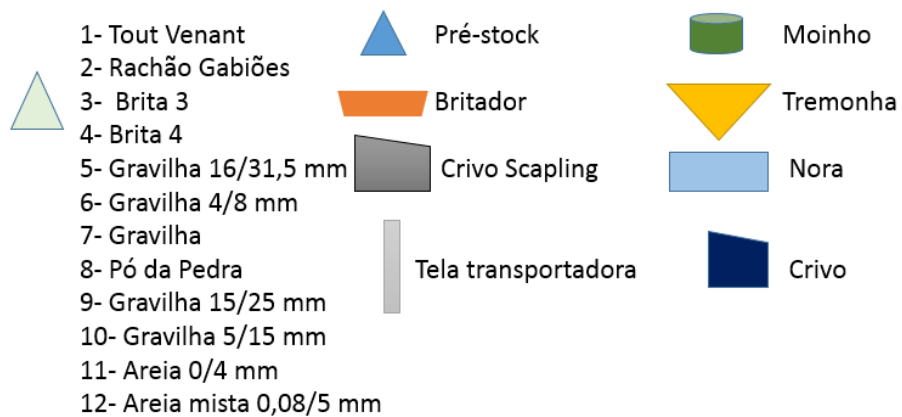


Figura 51- Diagrama de Tratamento da Pedreira do Vale do Boi

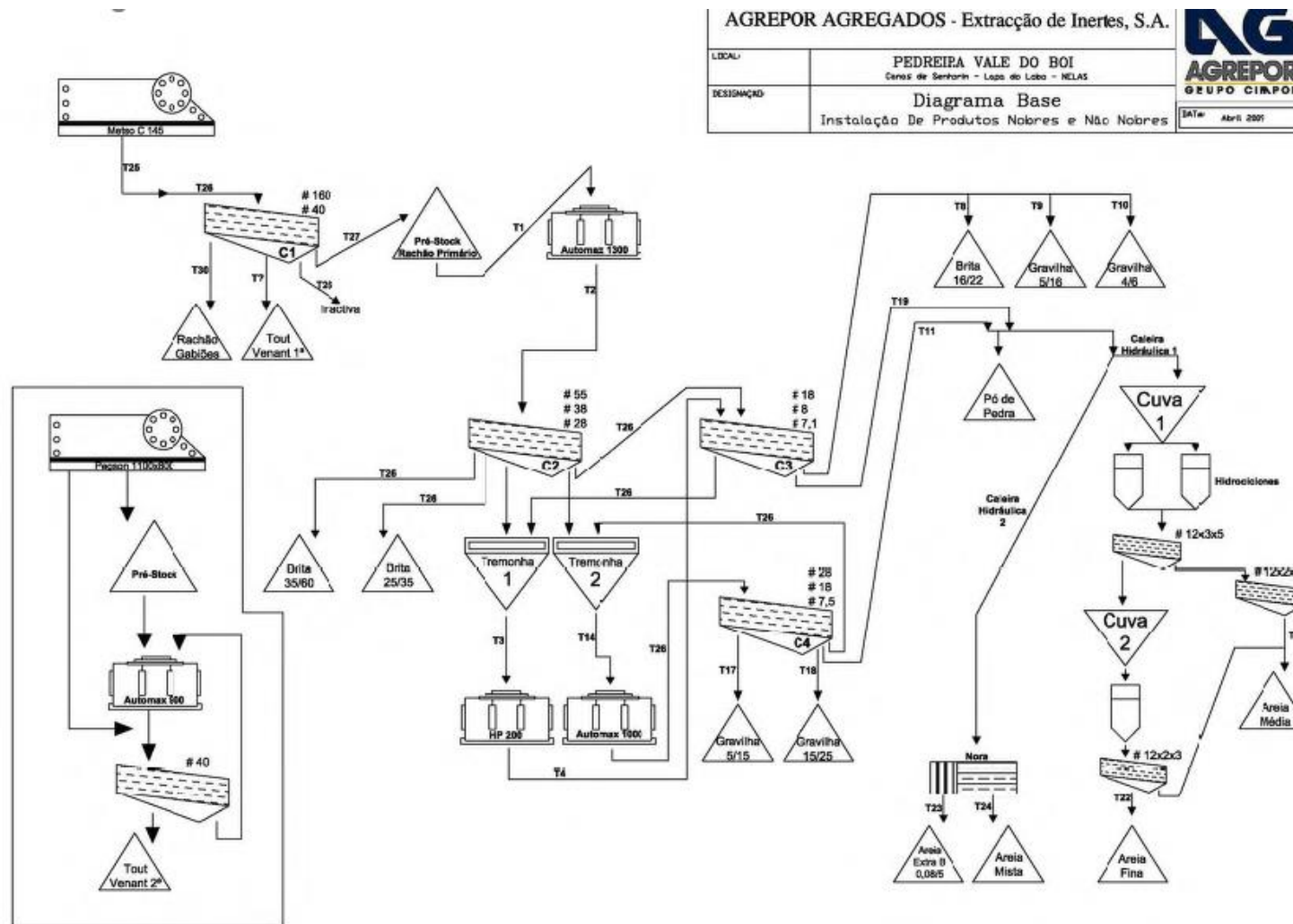


Figura 52- Diagrama Base da pedra do Vale do Boi

2.5.1. Armazenamento e expedição

Após o processamento e beneficiação, o produto final é depositado debaixo de cada tela transportadora identificada com a respetiva granulometria, (Figura 53). Quando o *stock* excede o espaço disponível ou provoca perturbações na circulação dos veículos, o produto é acondicionado em novos *stocks*, (Figura 54). Cada *stock* deve estar sempre devidamente identificado com uma placa.



Figura 53- Identificação dos stocks



Figura 54- Área dos stocks

Uma vez que o recurso é quase todo vendido para construção civil, é possível rentabilizar todo o produto mineral, sendo por isso poucos ou quase nenhuns os *stocks* existentes.

Quando ocorre rutura no mercado da procura, pode haver acumulação de alguns *stocks*. De forma a não exceder alturas excessivas de um dado *stock*, deve constituir-se outro *stock* ou colocar uma rede de malha fina, de forma a minimizar a formação de poeiras.

A venda dos produtos é efetuada com o carregamento de camiões com pá carregadora. Inicialmente passam na balança para a pesagem do veículo vazio, (Figura 55 a)). Depois de carregados voltam a passar na balança, para nova pesagem, sendo possível a lavagem do camião para a diminuição de poeiras, (Figura 55 c)). Caso o condutor do camião tenha de sair do veículo para falar com o operário deverá utilizar colete refletor e capacete, de modo a garantir a sua segurança. Todos os veículos externos à exploração devem cumprir as regras de circulação na pedreira.













Figura 55- A) Entrada e saída de camiões, B) Carregamento do camião com a pá carregadora, C) Saída e lavagem do camião







2.6. Produtos comercializados

Os produtos comercializados na pedreira do Vale do Boi são obrigatoriamente certificados pela APCER e devem ter marcação CE. Os produtos vendidos estão listados na Tabela 6, identificados pela respetiva norma e as suas aplicações são indicadas, sendo as medidas na designação comercial em milímetros (mm).

Tabela 6- Produtos comercializados

Designação comercial	Produto comercial	Normas aplicadas e aplicações
Rachão de desmonte		<u>Aplicações:</u> Enrocamento.
Rachão Gabiões		<u>Norma:</u> EN 13383-2 <u>Aplicações:</u> Enrocamento e gabiões.
Rachão Britado		<u>Norma:</u> EN 13383 <u>Aplicações:</u> Enrocamentos e gabiões.
		<u>Norma:</u> EN 13242 <u>Aplicações:</u> Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e rodoviária.

		<p><u>Norma:</u> EN 12422</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e rodoviária.</p>
 <p>Brita 31,5/63</p>		<p><u>Norma:</u> EN 12620</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para betão.</p>
		<p><u>Norma:</u> EN 12620 e EN 13043</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para betão e agregados para misturas betuminosas e tratamento de superfícies para estradas, aeroportos e outras vias de circulação.</p>
		<p><u>Norma:</u> EN 13043</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para misturas betuminosas e tratamento de superfícies para estradas, aeroportos e outras vias de circulação.</p>
		<p><u>Norma:</u> EN 12620 e EN 13043</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para betão e agregados para misturas betuminosas e tratamento de superfícies para estradas, aeroportos e outras vias de circulação.</p>

		<p><u>Norma:</u> EN 12620 e EN 13043</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para betão e agregados para misturas betuminosas e tratamento de superfícies para estradas, aeroportos e outras vias de circulação.</p>
		<p><u>Norma:</u> EN 12620</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para betão.</p>
		<p><u>Norma:</u> EN 12620</p> <p><u>Aplicações:</u> Agregados para betão.</p>

2.6.1. Ficha produto

Os produtos comercializados nesta exploração são todos submetidos ao controlo de qualidade que compreende a realização de vários testes.

O controlo de qualidade dos produtos vendidos é efetuado em diferentes *stocks*, em intervalos de tempo que depende do tipo de ensaio, (Tabela 7). As amostras colhidas, são posteriormente enviadas para o laboratório em Penafiel. Os ensaios realizados são:

- Análise granulométrica (AG);
- Equivalente de areia (EA);
- Índice de achatamento (IA);
- Resistência à fragmentação (Los Angeles) (LA);
- Massa volúmica real e absorção à água (MVAA);
- Reatividade álcalis sílica (RAS);
- Retração por secagem (RpS);

- Teor de Cloretos (TC);
- Teor de Húmus (TH);
- Teor total de enxofre (TE);
- Análise petrográfica (PET);

Tabela 7- Frequência dos ensaios de qualidade

Frequência	Ensaio
1x por semana	AG
	EA
1x por mês	IA
2x por ano	LA
1x por ano	MVAA
1x por 5 anos	RAS
	RpS
1x por 2 anos	TC
	TH
	TE
1x por 3 anos	PET

Todos os produtos comercializados têm uma ficha produto base, que permite comparar as suas características ao longo do tempo.

Quando um produto não está em conformidade com os parâmetros estipulados, deverá ser avaliado e analisadas as causas que possam ter originado o problema, procedendo-se à sua correção.

De forma a prevenir alguns inconformes, deve-se verificar todo o equipamento novo, ou seja, verificar dimensões das malhas com o paquímetro e a fita métrica, (instrumentos calibrados anualmente pelo laboratório de Penafiel), verificar e limpar os equipamentos do ciclo produtivo e analisar a qualidade da água, entre outros.

2.7. Impactes ambientais

A pedreira do Vale do Boi, tem um plano de identificação e medidas de mitigação dos impactes ambientais provocados pela operação industrial.

Segundo o Decreto lei nº69/200, de 3 de maio, impacte ambiental refere-se ao conjunto de alterações resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria se esse projeto não viesse a ter lugar, a chamada situação de referência.

Durante a fase de identificação de impactes consideram-se as atividades associadas à implementação do projeto e os descritores ambientais suscetíveis de serem afetados por essas atividades.

Foram considerados os seguintes impactes ambientais:

- Clima;
- Qualidade do ar;
- Ruído;
- Vibrações;
- Geologia;
- Solos;
- Paisagem;
- Ecologia;
- Uso do solo e ordenamento do território;
- Hidrologia;
- Qualidade da água;
- Sócio-económico;

Todos os projetos têm fases distintas e descrevem cada uma das atividades a serem cumpridas. As fases dividem-se em preparação, exploração e recuperação.

A fase de preparação caracteriza-se por desmatção, decapagem do solo, remoção e acondicionamento do solo para posterior utilização na fase de recuperação.

Na fase de exploração as atividades a realizar são a furação, carregamento dos furos, transporte, lavagem do material, armazenamento e manutenção dos equipamentos.

A fase de recuperação, pretende reverter os impactes causados e pode ocorrer durante a exploração da pedreira e após a cessação da atividade.

Na pedreira do Vale do Boi, os impactes a ter em maior consideração são a qualidade do ar, da água, vibrações e ruídos.

Existem algumas medidas de mitigação já em prática, tais como:

- Uso de aspersores em todas as telas transportadoras e no alimentador do britador primário, (Figura 56 e Figura 58);
- Uso da cisterna e da água proveniente do lago da pedreira para pulverizar os caminhos de maior circulação, (Figura 59);
- Existência de um aspersor vertical, para a lavagem dos caminhões, (Figura 57);
- Ajustamento do diagrama de fogo, de forma a mitigar o ruído e vibrações;
- Reflorestação das áreas exploradas;
- Reaproveitamento da água;



Figura 56- Chuveiro no alimentador do britador



Figura 57- Lavagem dos caminhões



Figura 58- Chuveiro na Tela Transportadora para o stock primário



Figura 59- Cisterna para efetuar a rega ao solo da pedreira

2.8. Segurança e Higiene no trabalho

Todas as zonas de exploração devem obedecer ao decreto-lei referido na Tabela 8, Anexo II, assegurando assim a segurança, higiene e saúde dos trabalhadores e de quem circula nessas zonas. O objetivo de todas as explorações é atingir zero acidentes, sendo até premiadas as explorações com mais anos com zero acidentes.

Porém para se atingir este objetivo deve observar-se:

A empresa é obrigada a:

- Conhecer e cumprir em totalidade a legislação atualmente em vigor;
- Sinalizar corretamente e visivelmente todos os caminhos de circulação;
- Informar os trabalhadores das condições laborais e respetivos riscos;
- Ter equipamento necessário de segurança e higiene individual;
- Ter proteções mecânicas nas zonas perigosas das máquinas;
- Paragens de emergências;
- Cabines de controlo;
- Acessos seguros nos locais de operação e manutenção das máquinas;
- Possuir primeiros socorros;
- Disponibilizar instalações de higiene e sociais para os operadores;
- Preservar a segurança dos trabalhadores e de outros;

Regras gerais para trabalhadores e visitantes:

- Todos os veículos no parque de estacionamento, devem estar posicionados de modo a sair de imediato, em situações de emergência, (Figura 60);
- Os veículos que circulam na zona da exploração, devem ligar as luzes e não exceder uma velocidade de 10km/h, (Figura 60);
- A circulação a pé só é permitida, quando autorizada e acompanhada por alguém responsável. Quando autorizada, deve utilizar o equipamento necessário;
- Quem circula a pé, deve dar sempre prioridade aos transportes de carga e máquinas e deve estar com o máximo de atenção;
- Não entrar em espaços confinados;
- Não colocar a vida própria e de outros em risco;
- Respeitar sempre as ordens dadas pelos superiores;

- Em caso de emergência, devem dirigir-se com calma para a zona de encontro (zona definida no início da exploração) e tentar avisar o responsável;



Figura 60- Sinalização de circulação e prevenção

2.9. Recuperação paisagística

No final da exploração da massa mineral, é necessário restabelecer a paisagem e o meio ambiente. Para isso é necessário analisar os impactos ambientais ocorridos ao longo da exploração, aplicar soluções para a recuperação da flora, da fauna e criação de um espaço que a população em geral possa usufruir.

A Pedreira do Vale do Boi dispõe de projeto de recuperação ambiental, de acordo com o estudo de impacto ambiental (EIA), submetido às entidades competentes no início da exploração. A recuperação da pedreira do Vale do Boi compreende quatro fases. Estas fases correspondem cronologicamente à desativação dos anexos da pedreira e limpezas, à adaptação dos terrenos, ao enchimento e implantação de flora característica da zona, à aplicação de solo para cultivo, posterior manutenção e conservação das zonas recuperadas.

A recuperação ambiental assenta na implementação de um mosaico florestal aberto (pinheiro bravos, mansos e carvalhos), assegurando o estabelecimento de vegetação autóctone e da flora característica daquela zona. Assim, prevê-se o preenchimento parcial da pedreira com inertes, para dissimular as bancadas e posterior implementação de flora favorável ao desenvolvimento de colónias de pequenos mamíferos e aves características da região. Todo o mosaico florestal deve obedecer a regras da luta contra os incêndios.

O lago existente nesta pedreira será preenchido por material rochoso para assegurar a segurança do local, estando igualmente prevista a construção de um poço de drenagem para efetuar descarga para a ribeira mais próxima, a ribeira do Vale do Boi.

A zona dos edifícios internos da pedreira (escritórios, armazéns, etc) será utilizada para plantação de árvores semelhantes às originais. Este plano é assegurado pela Agrepor, que reserva um fundo com orçamento já previsto para a recuperação da pedreira do Vale do Boi.

Tendo em conta o conhecimento adquirido ao longo do estágio, elaborei um possível plano de recuperação de forma a corresponder às dificuldades que atualmente enfrentamos.

Na pedreira do Vale do Boi, o plano de recuperação ambiental proposto está atualmente a ser utilizado no fornecimento de água para a agricultura no distrito de Viseu. Caso seja implementado um plano de tratamento de água para consumo humano, esta reserva poderá ser importante para o abastecimento de água ao concelho de Nelas.

3. Considerações finais

As operações industriais no barreiro de Alvarães e na pedreira do Vale do Boi foram dimensionadas tendo em conta os aspetos técnico- económicos, de modo a aproveitar o recurso mineral explorado em ambos os casos. O método aplicado nos dois locais é o mais eficiente tendo em conta as características locais e o recurso mineral. Esta eficiência só é possível pela conjugação de vários fatores como de gestão, engenharia, segurança, ambientais, qualidade, otimização e económicos.

As operações industriais devem adaptar-se aos diferentes ciclos de procura e oferta. A eficiência de uma exploração mineira deve sempre procurar a minimização de custos, mas mantendo sempre elevada qualidade de produto, elevados níveis de segurança, higiene e proteção ambiental.

Na concessão de Alvarães já se encontram em funcionamento algumas medidas de mitigação de impactes ambientais, tal como a recuperação de uma bacia de exploração inativa e transformada em lago para a atividade da pesca. Este lago também serve de apoio aos bombeiros no abastecimento de água.

Releve-se que, no caso da pedreira do Vale do Boi, o plano de recuperação ambiental proposto está atualmente a ser utilizado no fornecimento de água para a agricultura no distrito de Viseu. No futuro prevê-se o fornecimento de água às próprias populações, em particular em épocas de estio e seca extrema.

Durante o meu estágio em ambas as zonas de exploração, tive o apoio dos técnicos e outras pessoas que trabalham nas concessões, melhorando e aumentando os meus conhecimentos nesta área.

Por fim, após a conclusão do estágio reconheço a importância do Engenheiro Geólogo na indústria extrativa, pois reúne conhecimentos de vasto campos do Conhecimento, Engenharia e Geologia que foram complementados com aspetos de natureza comercial.

Quero agradecer o apoio prestado pelos Funcionários, Técnicos e Engenheiros das empresas onde estagiei, o que permitiu melhorar os conhecimentos na área da indústria extrativa.

4. Bibliografia

- (10 de 06 de 2017). Obtido de LNEG:
http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/boa_pratica/texto
- Barbosa, B. P. (1983). Origem e idade dos caulinos portugueses em granitos. Serviços Geológicos de Portugal.
- Carvalho, A. G. (2011). Dicionário de Geologia. Âncora Editora.
- Daniel, F. (1999). *Manual de utilização de explosivos em explorações a céu aberto*. Divisão de Minas e Pedreiras do IGM.
- Esteves, M. (1993). Controlo de vibrações provocadas por explosões na indústria da construção. LNEC.
- Ferraz, E. J. (2004). *Caulinos de Alvarães: propriedades e aplicações cerâmicas*. Universidade de Aveiro.
- Johnson, S. (1971). Explosive Excavation Technology. Livermore: U.S. Army Engineer Nuclear Cratering Group.
- Julivert, M., Fontboté, J., Ribeiro, A., & Conde, L. (1974). *Memória explicativa do mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1/1000000*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de Espana.
- Luz, A., Sampaio, J., & França, S. (2010). *Tratamento de Minérios*. Rio de Janeiro: CETEM.
- Pereira, E. (1992). *Carta Geológica de Portugal na escala 1/ 200000, folha 1*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Portal do Clima. (2017). Obtido de <http://portaldoclima.pt/pt/>
- Portal do Clima. (2018). Obtido de <http://portaldoclima.pt/pt/>
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., & Carvalho, D. (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Trindade, B. A. (2009). *Engenharia e Gestão na Produção de Agregados*. Universidade de Aveiro.

Anexos

Anexo I. Mapas

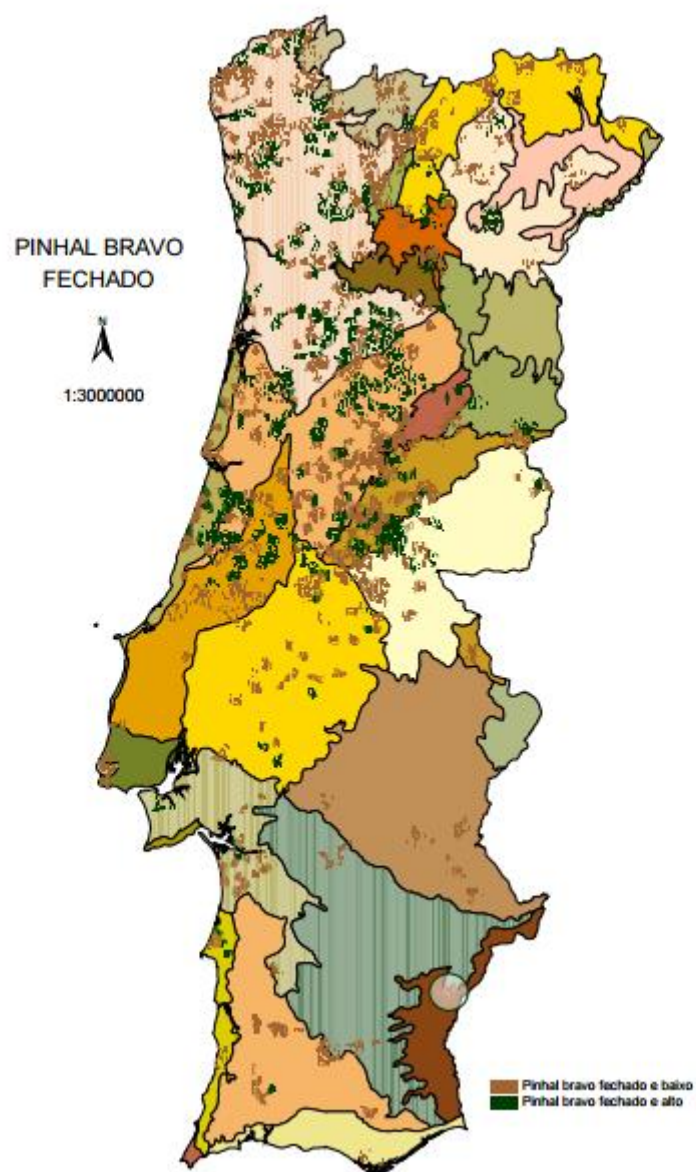


Figura 61-Carta da tipologia florestal de Portugal Continental

Anexo II. Legislação

Tabela 8- Legislação de zonas de exploração a céu aberto




Decreto-Lei		Descrição
Decreto-Lei nº54/2015	-	A presente lei estabelece as bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional.
	Artigo 2ºK): "Depósitos minerais"	Quaisquer ocorrências minerais que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse económico.
Decreto-Lei nº88/90	Artigo 5º	Direitos de prospeção e pesquisa
Decreto-Lei nº340/2007,12/10	1) Artigo 11º 2) Artigo 29º 3) Artigo 31º 4) Artigo 51º	1) Pedido de Licença 2) Atribuição da Licença 3) Vistoria à exploração 4) Relatórios técnicos
Decreto-Lei nº151-B/2013	-	Regime jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) de projetos públicos e privados suscetíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, devendo obedecer a legislações específicas sobre a qualidade do ar, qualidade da água, vibrações, ruído, poeiras.
Decreto-Lei nº102/2010 de 23/10	Qualidade do ar	Devem de ter em conta as normas, orientações e programas da Organização Mundial de Saúde, respeitando os valores limites de emissão (VLE) para cada uma das fontes de emissão.




1) Decreto-Lei nº236/98 2) Decreto-Lei nº 58/2005	Qualidade da água	1) Normas de qualidade para proteger o meio aquático e melhorar a qualidade da água. 2) A Lei da Água é aprovada pelo que estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.
1) Decreto-Lei nº9/2007 2) Decreto-Lei nº221/2006 3) Decreto-Lei nº 72/92	Ruído	1) É aprovado o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aplicando-se a atividades ruidosas , perrmanentes, temporárias e infraestruturas de transporte. 2) Aprova o regulamento das emissões sonoras de equipamento para utilização no exterior. 3) Estabelece um quadro geral de proteção dos trabalhadores contra riscos decorrentes da exposição ao ruído durante o trabalho.
Norma Portuguesa 2074 de 1983	Vibrações	Avalia a influência de vibrações em construções provocadas por explosões ou solicitações similares. Define valores limites aos parâmetros e níveis máximos admissíveis de velocidade de vibração. Aplica-se em construções destinadas à habitação, indústria e serviços, tendo em consideração a natureza do terreno de fundação.
1) Decreto-Lei nº162/90, Artigo 152º 2) Decreto-Lei nº111/2002	Poeiras	1) Todas as empresas devem tomar medidas para a redução de poeiras. 2) Valores limites e os limiares de alerta para as concentrações de poluentes no ar ambiente.
1) Decreto-Lei nº 162/90 2) Portaria nº198/96	Segurança e Higiene no trabalho	1) Aprova o Regulamento Geral de Segurança e Higiene no Trabalho nas Minas e Pedreiras. 2) Regula as prescrições mínimas de segurança e de saúde nos locais e postos de trabalho das indústrias extrativas a céu aberto ou subterrâneas.

Anexo III. Equipamento obrigatório

Todos os operadores e terceiros, devem utilizar os equipamentos, para prevenção da saúde e integridade física. Segue na Tabela 9 , os seguintes equipamentos obrigatórios:

Tabela 9- Equipamentos obrigatórios em zonas de exploração

Zonas	Perigos	Equipamentos	
1) Cabeça	Queda de material, risco de queda e proteção do cabelo	Capacetes	
2) Olhos	Projeção de partículas, pedras, gases e pó	Óculos ou viseiras	
3) Respiração	Poeiras e gases	Respirador descartável ou capacete autoalimentado	

4) Proteção do corpo	Temperaturas extremas, impacto, poeiras perigosas, quedas e salpicos de material perigosos	Vestuário de alta visibilidade e proteção global do corpo	
5) Mãos e Braços	Temperaturas extremas, cortes ou perfurações, contaminação ou descargas elétricas	Vestuário que tape todas as superfícies do corpo e apertado nos extremos e luvas impermeáveis e resistentes	
6) Pés e pernas	Escorregar, queda de objetos ou perfurações, salpicos de metais e produtos químicos	Vestuário que tape todas as superfícies do corpo e apertado nos extremos e botas de segurança à prova de água e resistentes à queda de objetos ou perfuração	
7) Audição	Ruído	Proteção auditiva	